



Escola de Camins
Escola Tècnica Superior d'Enginyeria de Camins, Canals i Ports
UPC BARCELONATECH

Análisis técnico - económico de la incineradora (TERSA) de Barcelona

Treball realitzat per:

Sergi Contelles Rodriguez

Dirigit per:

Dr. Luís Seguí Amórtegui

Màster en:

Enginyeria Ambiental

Barcelona, 24 de Gener de 2020

Departament d'Enginyeria Agroalimentària
i Biotecnologia

TREBALL FINAL DE MÀSTER

RESUMEN

La planta de valorización energética de residuos TERSA se presenta como una infraestructura clave en el tratamiento de residuos de la ciudad de Barcelona y de municipios cercanos como Santa Coloma de Gramenet, Sant Adrià del Besós i Badalona, tratando al año más de 350.000 tn de residuos urbanos y produciendo más de 180.000 MWh de electricidad y 110.000 tn de vapor. En sus instalaciones se realiza un proceso de combustión controlada de la fracción rechazo procedente de las plantas de tratamiento mecánico-biológico; y, por lo tanto, se considera una fracción ya no reciclable. De este modo, se reduce de forma considerable el volumen de residuos y se aprovecha su poder calorífico para generar electricidad.

Los materiales resultantes de este proceso son las escorias y las cenizas. Las escorias son materiales valorizables que se aprovechan, por ejemplo, para la producción de hormigón ecológico, y las cenizas se someten a una disposición controlada.

No obstante, y a pesar de tener múltiples beneficios para la sociedad existen diferentes estudios y sucesos que han generado cierta polémica alrededor de la instalación de incineración. La combinación de posibles emisiones perjudiciales para la salud y la alta densidad de población, junto al hecho de que TERSA es una de las infraestructuras clave en el tratamiento de residuos para el Área Metropolitana de Barcelona (AMB) generan un problema de difícil abordaje con los mecanismos y análisis clásicos.

El principal objetivo del presente trabajo es evaluar la viabilidad técnica-económica de la infraestructura de TERSA frente a otra infraestructura de tratamiento de residuos, SEMESA (preparación para el reciclaje). El análisis en su última instancia busca comprobar si la jerarquía de residuos establecida por la Directiva 2008/98/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 19 de noviembre de 2008, sobre los residuos se cumple en el alcance analizado del estudio: venta de electricidad a la red eléctrica (TERSA) y venta de materiales separados a empresas de reciclaje (SEMESA). Estas propuestas parten de la base de un análisis previo como lo son aspectos regulatorios, sociales, ambientales, tecnológicos y de explotación.

La valoración económica se realizó por el método de Análisis Coste-Beneficio (ACB) y la técnica de Valor Actual Neto (VAN), que permitió determinar el beneficio total generado por las instalaciones analizadas (SEMESA y TERSA). Siendo necesario realizar previamente la identificación de los costes e ingresos privados relacionados con la inversión, explotación y mantenimiento, así como aquellas externalidades positivas y negativas.

Esta tesis de máster contiene 9 capítulos que desarrollan un estado del arte, un análisis del marco legal de aplicación en el estudio, un análisis de los entornos sociales e industriales presentes en SEMESA y TERSA junto a una descripción detallada de sus procesos e instalaciones. Finalmente, se

define la valoración económica para SEMESA y TERSA, evaluando los costes e ingresos internos y externos asociados a sus instalaciones. Finalmente, se plantean las diferentes conclusiones de la investigación.

El estudio permitió establecer como principal resultado que la jerarquía de residuos propuesta por la Directiva 2008/98/CE de residuos se cumple, siendo el caso de la infraestructura de reciclaje de SEMESA (53,59€/tn tratada) más rentable que la de incineración TERSA (-85,23€/tn tratada). El resultado de este estudio muestra la necesidad de planificar las infraestructuras de tratamiento de residuos teniendo en cuenta los impactos que van a generar en el medio ambiente y en las personas debido a su actividad.

Palabras claves: economía circular, análisis técnico-económico, valorización energética, valorización material, externalidades, coste de oportunidad, impactos privados.

ABSTRACT

TERSA, a waste energy recovery plant, is presented as a key infrastructure in the treatment of waste from the city of Barcelona and nearby municipalities such as Santa Coloma de Gramenet, Sant Adrià del Besós and Badalona, treating more than 350,000 tons of urban waste per year and producing more than 180,000 MWh of electricity and 110,000 tons of steam. In its facilities a controlled combustion process of the residual fraction from the mechanical-biological treatment plants is carried out; and therefore, it is considered a fraction that is no longer recyclable. In this way, the volume of waste is considerably reduced, and its calorific value is used to generate electricity.

The materials resulting from this process are slags and ashes. Slags are valuable materials that are used, for example, to produce ecological concrete, and the ashes are subject to a controlled arrangement.

However, despite having multiple benefits for society, there are different studies and events that have generated some controversy around the incineration facility. The combination of possible harmful emissions to health and the high population density, together with the fact that TERSA is one of the key infrastructures in the treatment of waste for the Metropolitan Area of Barcelona (AMB) generate a difficult problem with the classical analytic mechanisms.

The main objective of the present work is to evaluate the technical-economic viability of the TERSA infrastructure against another waste treatment infrastructure, SEMESA (preparation for recycling). The analysis ultimately seeks to verify whether the waste hierarchy established by Directive 2008/98/EC of the European Parliament and of the Council, of November 19, 2008, on waste is met within the scope analyzed of the study: sale of electricity to the electricity grid (TERSA) and sale of separate materials to recycling companies (SEMESA). These proposals are based on a prior analysis such as regulatory, social, environmental, technological and operational aspects.

The economic valuation is carried out by the Cost-Benefit Analysis (ACB) method and the Net Present Value (VAN) technique, which allowed determining the total benefit generated by the facilities analyzed (SEMESA and TERSA). The identification of the Private Costs and Revenues related to investment, exploitation and maintenance, as well as those positive and negative externalities was previously made.

This master's thesis contains 8 chapters that develop a state of the art, an analysis of the legal framework for application in the study, an analysis of the social and industrial environments present in SEMESA and TERSA together with a detailed description of their processes and facilities. Finally,

the economic valuation for SEMESA and TERSA is defined by evaluating the internal and external costs associated with its facilities. Finally, the different conclusions of the investigation that was carried out are presented.

The study established as the main result that the waste hierarchy proposed by Directive 2008/98 / EC of waste is met, being the case of the SEMESA recycling infrastructure (€ 53.59 / tn treated) more profitable than that of incineration TERSA (-85.23 € / tn treated). The result of this study shows the need to plan waste treatment infrastructures taking into account the impacts they will generate on the environment and on people due to their activity.

Keywords: Circular economy, technical-economic analysis, energy recovery, material recovery, externalities, opportunity cost, private impacts.

AGRADECIMIENTOS

Me gustaría agradecer este trabajo de final de máster a todos los profesionales y docentes que a lo largo de mi vida me han enseñado que el progreso no es solo una cuestión de producción sino también de protección del medio ambiente y de la seguridad de las personas.

También me gustaría agradecer en especial al Dr. Seguí el haber hecho clases magistrales donde el debate y el cuestionamiento de la transmisión lineal de conocimiento hicieron despertar en mí la curiosidad por la economía circular y los modelos alternativos al sistema productivo actual.

Asimismo, agradezco a Rubí Medina el apoyo recibido y a su criterio experto en economía circular.

Finalmente, debo dar las gracias a todas las personas que me rodean y quieren. Habría sido mucho más difícil dedicar tiempo al aprendizaje y al estudio sin su respaldo diario y cariño. Espero algún día poder agradecerse lo logrando un mundo un poquito más sostenible, justo y avanzado.

CONTENIDO

RESUMEN	2
ABSTRACT	4
AGRADECIMIENTOS	6
CONTENIDO	7
ÍNDICE DE FIGURAS	12
ÍNDICE DE TABLAS	13
1 OBJETIVOS	14
1.1 Objetivos específicos	16
2 ESTADO DEL ARTE SOBRE LA INCINERACIÓN Y EL RECICLAJE DE RESIDUOS	17
2.1.1 Valorización material	19
2.1.2 Valorización energética	20
2.1.3 Análisis Económico de los sistemas de gestión de RSU	21
2.1.3.1 Metodología para el análisis técnico-económico de la gestión de RSU	26
3 MARCO NORMATIVO	28
3.1 Constitución Española	28
3.2 Directiva 2008/98/CE del Parlamento Europeo y Del Consejo de 19 de noviembre de 2008	28
3.2.1 Objeto y ámbito de aplicación	29
3.2.2 Exclusiones del ámbito de aplicación	29
3.2.3 Subproductos	30
3.2.4 Protección de la salud humana y el medio ambiente	31
3.2.5 Costes	31
3.2.6 Responsabilidad de la gestión de residuos	31
3.2.7 Expedición de autorizaciones	31
3.2.8 Exenciones de los requisitos de autorización	32
3.2.9 Programas de prevención de residuos	32
3.2.10 Disposiciones derogatorias y transitorias	32
3.2.11 Entrada en vigor	33
3.3 Llei 16/2017, de l'1 d'agost, del canvi climàtic	33
3.4 Ley 20/2009, de 4 de diciembre, de prevención y control ambiental de las actividades.	34
4 CONTEXTO SOCIAL Y ECONÓMICO CIRCUNDANTE EN TERSA Y SEMESA.	35
4.1 Contexto industrial en SEMESA	35
4.1.1 Parque Empresarial Gavà	35
4.1.2 Parc agrari Baix Llobregat	36

4.2	Contexto urbano en SEMESA	36
4.3	Contexto industrial en TERSA	37
4.3.1	Depuradora	37
4.3.2	Ciclos combinados Endesa	38
4.3.3	Districlima	39
4.3.4	La Pèrgola solar del Fòrum	40
4.4	Contexto urbano en TERSA	41
4.4.1	Campus EEBE UPC	41
4.4.2	Port Forum Sant Adrià	42
4.4.3	Desarrollo de futuras infraestructuras y servicios	43
4.4.3.1	Hard Rock Café	43
4.4.3.2	Edificio Diagonal 0	43
4.4.3.3	Hotel Mariotte	43
5	INSTALACIONES DE TRATAMIENTO DE RESIDUOS A ANALIZAR	44
5.1	SEMESA	45
5.1.1	Llegada de las fracciones a separar y valorizar	45
5.1.2	Selección de voluminosos y madera	45
5.1.3	Criba de doble cuerpo	45
5.1.4	Separador balístico	46
5.1.5	Aspirador	46
5.1.6	Tratamiento manual final	47
5.1.7	Separadores ópticos	47
5.1.8	Inductor de Foucault	47
5.2	TERSA	48
5.2.1	Descarga	48
5.2.2	Generación de energía	48
5.2.2.1	Horno	48
5.2.2.2	Caldera tubular	49
5.2.2.3	Turbinas	49
5.2.2.4	Condensadores	50
5.2.3	Depuración de gases	50
5.2.3.1	Electrofiltro	50
5.2.3.2	Atomizador y absorbedor de gases	51
5.2.3.3	Sistema de reducción catalítica	51
5.2.3.4	Inyección de carbón activo	52
5.2.3.5	Filtro de mangas	52

5.2.3.6	Chimenea	52
5.2.4	Separación de escorias	53
5.2.4.1	Canal de escorias	53
5.2.4.2	Separación de escorias y tierras	53
6	DETERMINACIÓN IMPACTOS	54
6.1	Introducción	54
6.2	Criba porcentual de impactos	55
6.3	Elementos internos SEMESA	56
6.3.1	Costes privados SEMESA	56
6.3.1.1	Infraestructura industrial	56
6.3.1.2	Aprovisionamiento	56
6.3.1.3	Gasto del personal SEMESA	57
6.3.1.4	Otros costes de explotación	57
6.3.2	Ingresos privados SEMESA	57
6.3.2.1	Venta de elementos valorizables	57
6.3.2.2	Prestaciones de selección de envases ligeros	58
6.3.2.3	Planta de voluminosos de madera y poda	58
6.4	Elementos externos SEMESA	58
6.4.1	Costes externos SEMESA	58
6.4.1.1	Impacto sobre el parque agrario del Llobregat	58
6.4.1.2	Responsabilidad Medioambiental	59
6.4.1.3	Emisiones de CO ₂ eq	61
6.4.2	Ingresos externos SEMESA	61
6.4.2.1	Educación ambiental	61
6.4.2.2	Desarrollo económico de la zona	62
6.4.2.3	Garantía para el tratamiento de residuos	62
6.5	Coste oportunidad en SEMESA	62
6.6	Tabla de evaluación de impactos en SEMESA	63
6.7	Elementos internos TERSA	65
6.7.1	Costes privados TERSA	65
6.7.1.1	Infraestructura industrial	65
6.7.1.2	Aprovisionamiento	65
6.7.1.3	Gasto del personal TERSA	66
6.7.1.4	Otros costes de explotación	66
6.7.2	Ingresos privados TERSA	66
6.7.2.1	Venta de energía eléctrica	66

6.7.2.2	Venta de agua	67
6.7.2.3	Venta de vapor	67
6.7.2.4	Venta de escorias y residuos	67
6.8	Elementos externos TERSA	67
6.8.1	Costes externos TERSA	67
6.8.1.1	Emisiones de CO _{2eq}	67
6.8.1.2	Emisiones cancerígenas	68
6.8.1.3	Calidad del aire	69
6.8.1.4	Freno al desarrollo económico de la zona	71
6.8.2	Ingresos externos TERSA	72
6.8.2.1	Ahorro de emisiones de CO ₂ en Districlima	72
6.8.2.2	Educación ambiental	72
6.8.2.3	Garantía en el suministro energético (autoabastecimiento)	73
6.8.2.4	Garantía para el tratamiento de residuos	73
6.9	Coste oportunidad en TERSA	74
6.10	Tabla de evaluación de impactos en TERSA	75
7	VALORACIÓN ECONÓMICA DE LOS IMPACTOS	78
7.1	SEMESA	78
7.1.1	Balance final de los elementos internos de SEMESA	78
7.1.2	Valoración económica de las externalidades de SEMESA	79
7.1.2.1	Responsabilidad Medioambiental	79
7.1.2.2	Impacto de emisiones de CO _{2eq}	79
7.1.2.3	Independencia en el tratamiento de residuos	80
7.1.3	Tabla resumen de externalidades de SEMESA	80
7.2	TERSA	81
7.2.1	Balance final de los elementos internos de TERSA	81
7.2.2	Valoración económica de las externalidades de TERSA	82
7.2.2.1	Impacto de cáncer local	82
7.2.2.2	Impacto de emisiones de CO _{2eq}	85
7.2.2.3	Independencia en el tratamiento de residuos	86
7.2.2.4	Ahorro de emisiones de CO ₂ en Districlima	86
7.2.3	Tabla resumen de externalidades de TERSA	87
7.3	Coste-Oportunidad (Precios Hedónicos)	88
7.3.1	Precios del suelo en SEMESA	88
7.3.2	Precios del suelo en TERSA	89
8	RESULTADOS	91

8.1	Resultados de beneficios analizados con costes e ingresos internos y externos y el coste-oportunidad.	91
8.2	Resultados viabilidad del proyecto	95
9	CONCLUSIONES Y PROPUESTAS	96
9.1	Conclusiones	96
9.2	Futuras líneas de investigación	98
10	BIBLIOGRAFÍA	99
11	Anexo 1: Cuentas anuales de SEMESA y TERSA (2017)	106
12	Anexo 2: Informe de sostenibilidad de TERSA 2017	107
13	Anexo 3: Informe de producción TERSA 2017	108
14	Anexo 4: Autorizaciones ambientales de TERSA y declaraciones ambientales de SEMESA y TERSA (2017)	109
15	Anexo 5: Informes IDM y MORA	110

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Análisis comparativo entre sistemas de valorización intermedios en la cadena de distribución de bienes (energética y material). Elaboración propia.	15
Figura 2: Generación de RSU en España de 2008 a 2017. European Union (2019)b.....	18
Figura 3: Tratamiento de RSU en España en 2017. European Union (2019)b.	19
<i>Figura 4: Etapas para el análisis técnico-económico. Seguí-Amórtégui et al. (2014).</i>	<i>27</i>
Figura 5: Ubicación del Parc Empresarial Gavà. En color amarillo se muestra el polígono industrial El Camí del Regàs (ubicació de SEMESA). Ajuntament de Gavà (2019).	36
Figura 6: Esquema aéreo de la depuradora del Besòs AMB (2019)a.	38
<i>Figura 7: Central de ciclo combinado del Besòs. Endesa Generación (2015).</i>	<i>39</i>
<i>Figura 8: Implantación de Districlima en el distrito 22@.</i>	<i>40</i>
Figura 9: Pèrgola fotovoltaica del Fòrum.	41
Figura 10: Dársenas del Port Fòrum Sant Adrià. En verde zonas de amarres para embarcaciones entre 10-25 metros. En rojo zona de amarre para superyates.	42
Figura 11: Trómel rotativo con doble criba, como el utilizado en SEMESA.	45
<i>Figura 12: Separador balístico. En naranja residuos ligeros, en azul residuos rodantes y en verde residuos finos.</i>	<i>46</i>
Figura 13: Esquema de inductor de Foucault.	47
<i>Figura 14: Esquema de incinerador de parrilla.</i>	<i>49</i>
Figura 15: Esquema de caldera tubular.	49
Figura 16: Esquema de condensador de vapor.	50
<i>Figura 17: Esquema electrofiltro industrial.</i>	<i>51</i>
Figura 18: Filtro de mangas.	52
Figura 19: Esquema de los impactos presentes en las instalaciones del estudio. En azul impactos internos, en verde impactos externos. Fuente propia.	54
Figura 20: Ubicación de SEMESA y del canal de la Murtra.	60
Figura 21: Emisiones anuales de NOx de la indústria (2014). NOTA: la leyenda de emisiones de NOx es cualitativa, no muestra unidades en la fuente de origen (Hipermapa del Departament de Territori i Sostenibilitat).	70
Figura 22: Mapa de la contaminación de las escuelas en Barcelona. En círculo rojo ubicación aproximada de TERSA. Fuente: visor web https://www.contaminacio.cat/	70
Figura 23: Emisiones anuales de PM10 de la indústria (2014). En círculo rojo ubicación aproximada de TERSA. NOTA: la leyenda de emisiones de PM10 es cualitativa, no muestra unidades en la fuente de origen (Hipermapa del Departament de Territori i Sostenibilitat).	71
Figura 24: Evolución de la población (Sant Adrià del Besòs y barrios barceloneses de Besòs i el Maresme y Diagonal Mar i el Front Marítim del Poblenou) en los núcleos de población cercanos a TERSA.	90

ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1: Ratios de reciclaje, valorización energética y disposición en vertedero por países (España en gris). European Union (2019)b</i>	21
Tabla 2: Artículos sobre reciclaje e incineración de residuos urbanos. Elaboración propia.....	25
Tabla 3: Análisis de los impactos considerados en SEMESA. Elaboración propia a partir de Seguí-Amórtégui et al. (2014).	63
Tabla 4: Análisis de los impactos considerados en TERSA. Elaboración propia a partir de Seguí-Amórtégui et al. (2014).	75
Tabla 5: Elementos de gasto analizados, euros gastados, y porcentaje respecto al total del gasto de 2017 en SEMESA. Fuente: SABI.	78
Tabla 6: Elementos de ingresos analizados, euros ingresados, y porcentaje respecto al total del ingreso de 2017 en SEMESA.....	78
Tabla 7: Valores para cálculo del impacto de emisiones de CO ₂ en SEMESA. Fuentes: (TERSA, 2017b; Generalitat de Catalunya, 2017).	79
Tabla 8: Valores para cálculo del impacto de la independencia en el tratamiento de residuos.	80
Tabla 9: Tabla resumen de las externalidades negativas valoradas en SEMESA.	80
Tabla 10: Tabla resumen de las externalidades positivas valoradas en SEMESA.	81
Tabla 11: Elementos de gasto analizados, euros gastados, y porcentaje respecto al total del gasto de 2017 en TERSA. Fuente SABI.	81
Tabla 12: Elementos de ingresos analizados, euros ingresados, y porcentaje respecto al total del ingreso de 2017 en TERSA.....	81
Tabla 13: Parámetros económicos y de incidencia del cáncer. (SEOM, 2019; Badia and Tort, 2015).	83
Tabla 14: Valores para cálculo del impacto de emisiones de CO ₂ en TERSA. Fuentes: (TERSA, 2017b; Generalitat de Catalunya, 2017).	85
Tabla 15: Valores para cálculo del impacto de la independencia en el tratamiento de residuos.	86
Tabla 16: Valores para cálculo del impacto de sinergias entre TERSA y Districlima.....	86
Tabla 17: Tabla resumen de las externalidades negativas valoradas en TERSA.	87
Tabla 18: Tabla resumen de las externalidades positivas valoradas en TERSA.	87
Tabla 19: Evolución de la población (Sant Adrià del Besós y barrios barceloneses de Besòs i el Maresme y Diagonal Mar i el Front Marítim del Poblenou) en los núcleos de población cercanos a TERSA.	89
Tabla 20: Valoración económica final de los impactos en SEMESA.	91
Tabla 21: Valoración económica final de los impactos en TERSA.	93
Tabla 22: Tabla resumen de la viabilidad de los proyectos de SEMESA y TERSA.	95

1 OBJETIVOS

Definido el contexto y las necesidades sobre residuos y energía de la ciudad de Barcelona, se plantea el objetivo general del presente estudio:

Plantear un estudio donde se realiza un análisis técnico-económico de la cadena de valor intermedia, en el marco de la Directiva Marco de residuos 2008/98/CE de residuos, comprendida desde la llegada de residuos a la instalación de tratamiento hasta la venta a otros agentes intermedios de la cadena de valor (distribuidoras eléctricas y empresas de reciclaje). Dicho estudio técnico estará enmarcado en la nueva directiva. La cadena de valor estudiada viene representada en la [Figura 1](#), donde se muestran los elementos a estudiar.

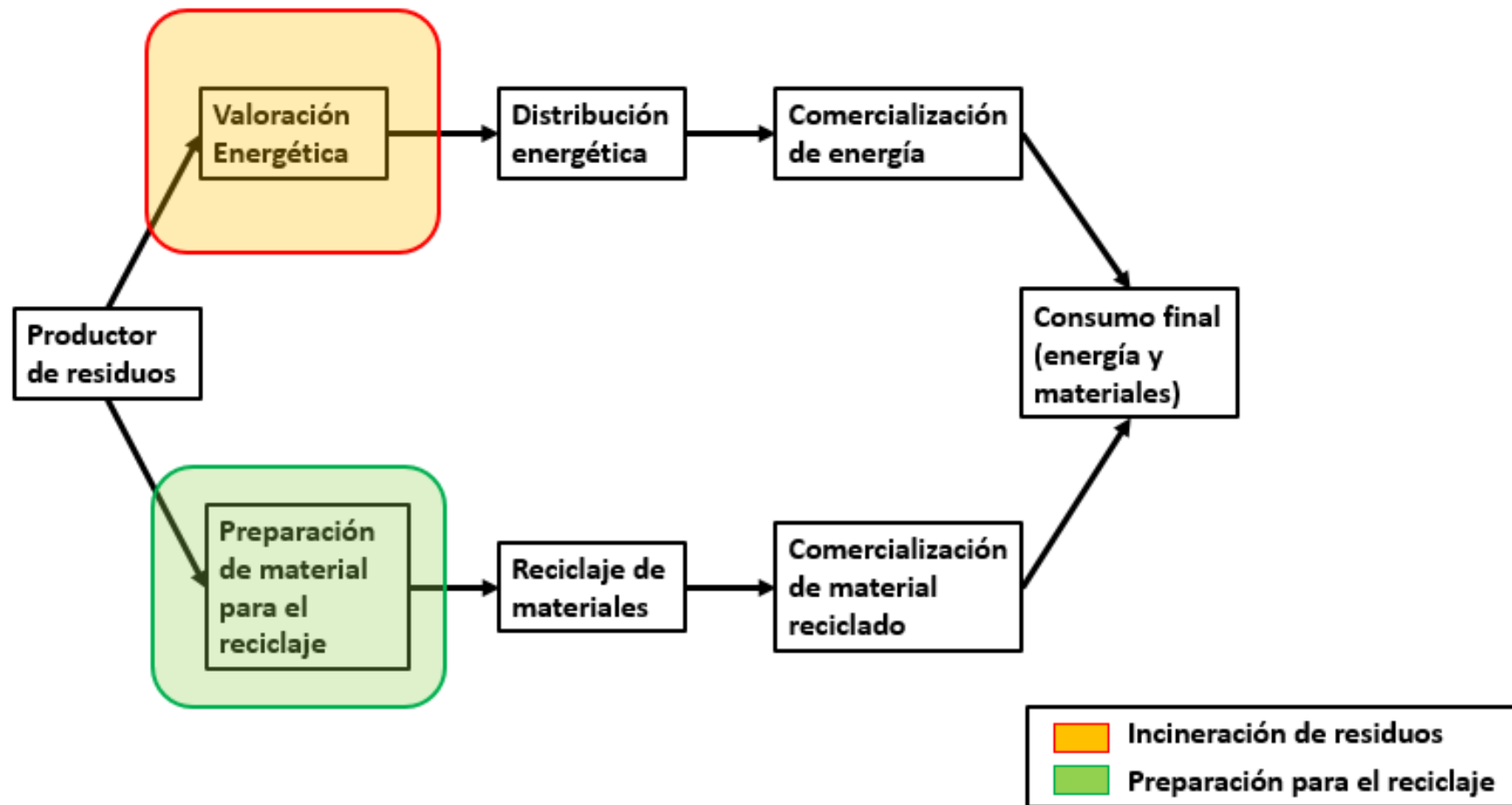


Figura 1: Análisis comparativo entre sistemas de valorización intermedios en la cadena de distribución de bienes (energética y material). Elaboración propia.

1.1 Objetivos específicos

- Averiguar si la infraestructura de reciclaje (SEMESA) es más rentable económicamente que la estructura de incineración (TERSA) con el objeto de validar la jerarquía de residuos propuesta por la Directiva Marco de residuos 2008/98/CE
- Recopilar y analizar información técnica de la planta de valorización energética (TERSA) y de la planta de selección de envases ligeros y residuos voluminosos (SEMESA).
- Identificar y analizar los riesgos ambientales y sociales presentes en los procesos de tratamiento de residuos.
- Valorar económicamente los riesgos ambientales y sociales mediante técnicas de economía ambiental.
- Valorar económicamente, mediante el método de precios hedónicos, el precio del terreno circundante a las instalaciones industriales.
- Aplicar criterios de la nueva ley catalana de cambio climático a la hora de analizar la huella de carbono.
- Identificar y valorar los costos e ingresos privados de las distintas instalaciones de tratamiento de residuos.
- Determinar la viabilidad técnico-económica de los dos modelos de gestión de residuos bajo el modelo de economía circular.

2 ESTADO DEL ARTE SOBRE LA INCINERACIÓN Y EL RECICLAJE DE RESIDUOS

Tradicionalmente, la economía global opera a través de un modelo lineal, donde los recursos y las materias primas se consideran ilimitados, siguiendo el esquema de toma-hacer-desechar o el esquema de la cuna a la tumba. Este modelo tradicional genera desperdicios significativos, ya que los recursos se usan y desechan después de corto uso y generalmente terminan en vertederos, sin darles un segundo uso, provocando que para fabricar nuevos productos deban de extraerse nuevamente recursos naturales.

Debido al hecho de que la cantidad actual de materias primas existentes no será suficiente para cubrir la demanda futura y la gran cantidad de desechos generados se gestiona de manera incorrecta e insostenible, es necesario el establecimiento de una economía circular.

En Kirchherr et al. (2017) se presenta la siguiente definición “Una economía circular describe un sistema económico que se basa en modelos de negocios que reemplazan el concepto de “fin de vida” por la reducción, reutilización, reciclaje y recuperación de materiales en los procesos de producción/distribución y consumo, operando así a nivel micro (productos, empresas, consumidores), nivel meso (parques ecoindustriales) y nivel macro (ciudad, región, nación y más allá), con el objetivo de lograr un desarrollo sostenible, que implique la creación de calidad ambiental, prosperidad económica y equidad social, en beneficio de las generaciones actuales y futuras” (p. 224).

Por otro lado, el Parlamento Europeo define la economía circular como: El modelo de producción y consumo que implica compartir, alquilar, reutilizar, reparar, renovar y reciclar materiales y productos existentes todas las veces que sea posible. De esta forma, el ciclo de vida de los productos se extiende. Lo que implica reducir los residuos al mínimo (Parlamento Europeo, 2019).

La generación de residuos en España en 2017, ha reducido en comparación a 2008, donde se muestra que fue de 462 y 551 kg per cápita, respectivamente. A pesar de esto, se observa una generación de residuos similar en los últimos años, como se muestra en la [Figura 2](#) (European Union, 2019b).

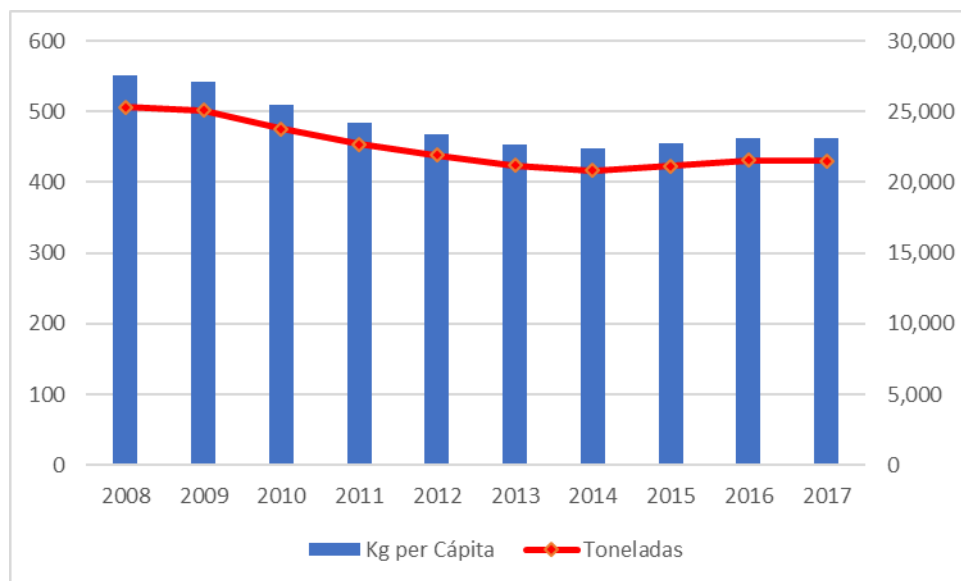


Figura 2: Generación de RSU en España de 2008 a 2017. European Union (2019)b

La gran generación de residuos es un asunto de creciente interés y preocupación, por lo que la Directiva 2008/98/CE del Parlamento Europeo, ha establecido la siguiente jerarquía de residuos como orden de prioridades en la legislación y la política sobre la prevención y la gestión de los residuos (European Parliament, 2008) :

- a) prevención;
- b) preparación para la reutilización;
- c) reciclado;
- d) otro tipo de valorización, por ejemplo, la valorización energética;
- e) eliminación.

Por otro lado, en Comisión Europea (2019) se presentan unos objetivos prioritarios en materia de residuos sólidos urbanos, los cuales son:

- Elevación del objetivo de preparación para la reutilización y el reciclado de residuos municipales al 65 % de aquí a 2035;
- Elevación del reciclaje del 70 % de los residuos de envases para el año 2030;
- Limitación gradual de los vertidos de residuos municipales al 10 % de aquí a 2035.

Esta jerarquía y objetivos priorizan la adopción de opciones para reducir la generación de residuos, aumentar la preparación para la reutilización y reciclado, y desalienta el depósito en vertederos, práctica que todavía es realizada en gran porcentaje en algunos países de Europa. En el caso de España en 2017, aproximadamente 11658 toneladas de los residuos (54%) fueron enviados a vertederos, 3945 toneladas (18,4%) fueron recicladas, 3350 toneladas (15,5%) se convirtieron en

compost y con 2589 toneladas (12,1%) se obtuvo energía por medio de la incineración de residuos (European Union, 2019b). La distribución del tratamiento de RSU realizado en España se presenta en la Figura 3.

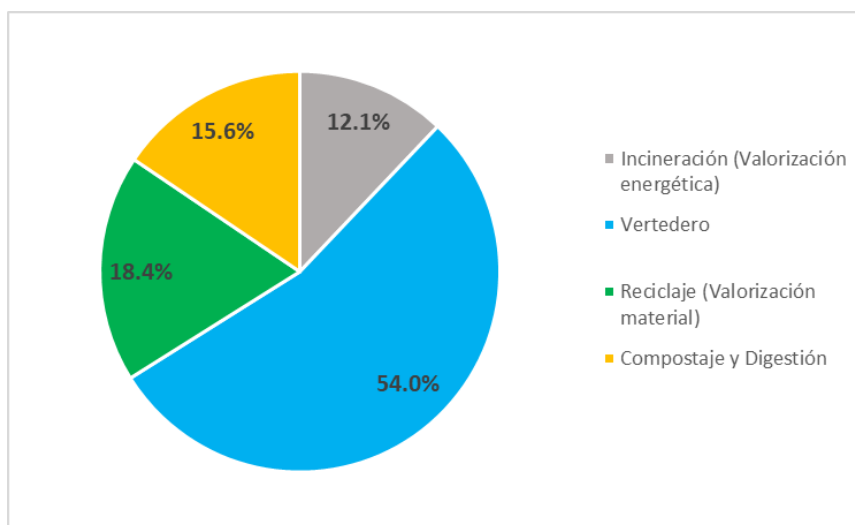


Figura 3: Tratamiento de RSU en España en 2017. European Union (2019)b.

Por otro lado, España presenta un enorme problema con la dependencia energética exterior. En 2017, el 73.9% de la energía primaria no renovable fue adquirida fuera del país. En específico, se muestra una dependencia de las importaciones del 97.9% del petróleo, 85.6% de los combustibles sólidos fósiles y 101.3% del gas natural (European Union, 2019).

Jamasb and Nepal (2010), señala que la creciente generación de RSU requiere una estrategia sostenible de gestión de residuos. Al mismo tiempo, abordar las preocupaciones sobre el cambio climático y la seguridad del suministro de energía requiere un mayor uso de fuentes de energía domésticas y bajas en carbono.

2.1.1 Valorización material

La valorización material es la obtención de nuevos materiales, o el reciclaje de parte de ellos, para evitar el uso de nuevas materias primas. Los materiales que se pueden valorizar son los envases ligeros, el papel y cartón, el vidrio o la materia orgánica.

Por otro lado, el reciclaje significa cualquier operación de recuperación mediante la cual los residuos se reprocessan para obtener productos, materiales o sustancias, ya sea para el propósito original u otros. Además, incluye el reprocessamiento de material orgánico, pero no incluye la recuperación de energía y el reprocessamiento en materiales que se utilizarán como combustibles o para operaciones de relleno (European Parliament, 2008, p. 8).

De acuerdo a Da Cruz et al. (2012), el reciclaje de los residuos permite reducir el consumo de materias primas. Por otro lado, es probable que la disminución de los residuos enviados a vertederos aumente la vida útil de los rellenos sanitarios. Además, la reducción de la cantidad de residuos que se envían a vertederos o incineradoras debería reducir la contaminación del suelo, el agua y el aire (emisiones reducidas).

De acuerdo a Risch (1978), diversos países carecen seriamente de recursos naturales primarios, en este caso, los residuos representan las materias primas más seguras, lo que les permitirá reducir la dependencia de las materias primas importadas, realizar ahorros considerables de energía y contribuir a la conservación del medio ambiente. En consecuencia, se obtiene un beneficio, debido a la reducción de los costes generados por la excavación de materias primas.

2.1.2 Valorización energética

La valorización energética es un proceso que minimiza el volumen de residuos mediante su combustión y que aprovecha la energía que genera este proceso para producir vapor y electricidad. La valoración energética de los residuos en plantas incineradoras representa una oportunidad para la reducción de la cantidad de residuos enviados a vertederos y, por consiguiente, poder cumplir con los objetivos fijados en materia de residuos. Además, de que permite disminuir la dependencia a la energía generada a partir de combustibles fósiles, los cuales generalmente son importados.

La incineración significa el tratamiento de residuos en una planta de incineración dedicada al tratamiento térmico de residuos con o sin recuperación del calor de combustión generado. Esto incluye la incineración por oxidación de residuos, así como otros procesos de tratamiento térmico, como procesos de pirólisis, gasificación o plasma, en la medida en que las sustancias resultantes del tratamiento se incineren posteriormente (European Parliament 2000). La incineración se usa generalmente para el tratamiento de la fracción rechazo (contenedor gris).

En la gestión de residuos sólidos urbanos la valorización energética se ha convertido en una alternativa ampliamente implantada en diferentes estados europeos. En especial, países con poca superficie y gran generación de residuos han adoptado esta técnica como elemento de transición hacia los objetivos de reciclaje fijados por la directiva. A continuación, se presenta en formato tabla una serie de países y sus ratios de reciclaje, valorización energética y disposición en vertedero.

Tabla 1: Ratios de reciclaje, valorización energética y disposición en vertedero por países (España en gris). European Union (2019)b

País	Incineración (Valorización energética)	Vertedero	Reciclaje (Valorización material)	Compostaje y Digestión
Alemania	31.2%	0.8%	49.6%	18.4%
Austria	39.3%	2.1%	26.2%	32.4%
Bélgica	43.5%	1.0%	35.2%	20.4%
Dinamarca	52.2%	0.9%	28.4%	18.5%
España	12.1%	54.0%	18.4%	15.6%
Francia	34.8%	22.0%	24.7%	18.5%
Grecia	1.0%	80.1%	14.7%	4.2%
Italia	20.4%	26.1%	31.1%	22.4%
Luxemburgo	43.3%	6.5%	28.5%	21.8%
Noruega	55.5%	3.6%	30.3%	10.5%
Países Bajos	43.4%	1.4%	26.6%	28.6%
Reino Unido	37.4%	17.4%	27.8%	17.4%
Suecia	52.8%	0.4%	31.3%	15.5%
Suiza	47.5%	0.0%	30.8%	21.7%

Observando los datos de los países recogidos en Tabla 1, se aprecia una relación entre la incineración y la disposición en vertedero. A más incineración generalmente se envía menos residuos al vertedero.

2.1.3 Análisis Económico de los sistemas de gestión de RSU

Generalmente, cuando se implementa un sistema de gestión de RSU, este puede generar diferentes impactos o consecuencias, que pueden reflejarse como costes o ingresos, si las partes interesadas se ven afectadas de manera negativa o positiva.

En general, un análisis económico-financiero de los sistemas de gestión de RSU se centra en el estudio de los impactos privados (costes e ingresos relacionados con OPEX y CAPEX), como en Al-Salem et al. (2014) y Aleluia and Ferrão (2017). Los impactos internos o privados son aquellos directamente relacionados con el proceso de tratamiento de RSU y su posterior reutilización (Seguí-Amórtégui et al., 2014). Estos son los costes e ingresos incurridos por el inversor o el desarrollador del proyecto. Los impactos privados negativos corresponden a los costes financieros asociados con la inversión (CAPEX) y la operación (OPEX) de los sistemas de tratamiento de residuos (Aleluia and

Ferrão, 2017). En los impactos privados positivos se incluyen los ingresos por la venta de residuos valorizados o energía generada en las instalaciones de incineración.

Por otro lado, los impactos externos o externalidades se refieren a aquellos que son causados directa o indirectamente por la operación de la planta, pero cuyos efectos generalmente son asumidos por una parte que no es su propietario u operador (Aleluia and Ferrão, 2017). Las externalidades están generalmente relacionadas con los impactos sociales y ambientales. Ejemplos de costes ambientales externos son la descarga de agua de lixiviado no tratada de una planta de compostaje, la liberación a la atmósfera de exceso de biogás de una instalación de digestión anaeróbica que contribuye así a las emisiones de gases de efecto invernadero, o la emisión de toxinas de una instalación de incineración que no puede ser equipado con tecnologías de control de emisiones. Los costes sociales podrían incluir, por ejemplo, la destrucción de empleos en el sector informal como resultado de la implementación de plantas de tratamiento de residuos mecanizadas a gran escala, o la mayor incidencia de enfermedades relacionadas con las vías respiratorias en las comunidades que se encuentran cerca de las plantas de incineración (Aleluia and Ferrão, 2017).

Según Nahman (2011), las externalidades o los costes externos “son difíciles de cuantificar en términos monetarios y, por lo tanto, generalmente no se reflejan en los cargos por eliminación de residuos ni se tienen en cuenta en la toma de decisiones con respecto a las opciones de gestión de residuos. Esto da como resultado un sesgo en contra de alternativas como el reciclaje, que puede ser más costoso que el vertedero desde una perspectiva puramente financiera, pero preferible desde una perspectiva ambiental y social” (p. 2046).

La definición de costes externos requiere la aplicación de métodos específicos desarrollados en la economía ambiental y de recursos (Dahlbo et al., 2007). De acuerdo con Atkinson and Mourato (2015), los economistas han desarrollado una serie de enfoques para estimar el valor económico de los impactos intangibles. Existen varios procedimientos que comparten la característica común de utilizar la información y el comportamiento del mercado para inferir el valor económico de un impacto no relacionado con el mercado; estos procedimientos se conocen como los métodos de valoración.

Existen varios trabajos que se han centrado en el análisis económico de las instalaciones de incineración y reciclaje para la gestión de residuos, de los cuales algunos han considerado los impactos externos, como se muestra en la Tabla 2. Algunos casos de estudio son:

Silva et al. (2019), donde se presenta un análisis energético y económico de las plantas de incineración en Brasil. Se realizaron cálculos para diferentes grupos de población con el fin de determinar la población mínima y la generación de residuos correspondiente para hacer viable una

planta de incineración. El potencial energético del país se estimó en función de la tarifa energética. Los resultados muestran que la energía producida a través de la incineración puede proporcionar energía a un promedio del 15% de la población generadora de desechos. El potencial energético viable en el país se confirmó solo para escenarios con tarifas de venta de energía más altas que las aplicadas actualmente en el mercado brasileño.

En Xin-Gang et al. (2016), se realiza un análisis de la industria de incineración desde dos aspectos. El primero es el análisis de los factores políticos, económicos, sociales y tecnológicos que influyen en el entorno externo de esta industria. El otro es la discusión de tecnologías, costes y desempeño de algunas plantas en China, incluyendo un análisis detallado coste-beneficio. Demuestra que el margen de beneficio neto y el retorno de la inversión (ROI) de las plantas de incineración es atractivo, hasta un 25% y un 18%, respectivamente. El período de recuperación es de 12.73 años y la tasa interna de rendimiento (TIR) es del 10.94%. Por lo tanto, la planta de incineración tiene buena rentabilidad y beneficio económico, así como importantes beneficios medioambientales.

En Jamasb and Nepal (2010), se evalúa los aspectos económicos y ambientales de las opciones de gestión de residuos centradas en la conversión de residuos en energía como recurso renovable. Este documento presenta un análisis de coste-beneficio social de los escenarios de gestión de residuos seleccionados para el Reino Unido, centrándose en objetivos específicos de gestión de residuos y precios del carbono y la comparación con la electricidad a partir de carbón. Los resultados indican que la rentabilidad mejora sustancialmente con los precios más altos del carbono. Los resultados muestran que la incineración puede ser una parte importante tanto de la estrategia de gestión de residuos como de la política de energía renovable, aunque para lograr el potencial completo de la incineración de los residuos se requiere el desarrollo de redes de suministro de calor.

En Rivas Casado et al. (2017), se utiliza el método de precios hedónicos para estimar el valor monetario de los impactos asociados con tres incineradores en Inglaterra. Una vez en funcionamiento, el impacto de los incineradores en los precios locales de la vivienda osciló entre aproximadamente el 0.4% y el 1.3% del precio medio de la vivienda para las áreas respectivas.

En Sun et al. (2017), se aplica un modelo de precios hedónicos para evaluar el impacto de las plantas de incineración en los valores locales de la vivienda en Shenzhen, China. Los resultados muestran que por cada kilómetro adicional que la propiedad está lejos de las plantas de incineración, el valor de los bienes inmuebles puede aumentar en un 1.30%. Cuando se presta atención al intervalo de corta distancia, como 0-5 km, el efecto de apreciación se puede aumentar significativamente, en casi un 8.6%, lo que aumenta notablemente la externalidad negativa.

En Panepinto et al. (2016), se analizó la incineración de residuos sólidos municipales situada en la provincia de Turín (Piamonte, norte de Italia), especialmente sus efectos económicos como consecuencia de la recuperación de energía que se puede lograr. Para realizar este análisis, se han estudiado dos tipos de recuperación de energía: energía eléctrica (configuración eléctrica) solamente, y energía eléctrica y térmica (configuración cogenerativa).

En Gradus et al. (2017), se evalúa el reciclaje de residuos plásticos y la incineración de residuos plásticos y se señala que el principal beneficio del reciclaje de plástico es evitar las emisiones de CO₂ que de otro modo se producirían durante la incineración y la producción de material de plástico virgen (nuevo). Al mismo tiempo, hay costes significativos involucrados, como la recolección, separación, clasificación y reciclaje. El beneficio de la incineración de residuos plásticos es la energía que se puede recuperar, lo que reduce las emisiones en el sector de producción de energía regular al desplazar la producción. El principal coste asociado con la incineración es que esto requiere una planta de conversión de residuos en energía con las inversiones de capital asociadas.

Algunos estudios han presentado metodologías que consideran impactos externos de los sistemas de gestión de residuos. Martinez-Sanchez et al. (2015), donde se proporciona un modelo de costes detallado y completo para la evaluación económica de los sistemas de gestión de residuos sólidos. El modelo se basó en los principios del Life Cycle Costing (LCC). Los costes se clasificaron en: (1) costes presupuestarios, (2) transferencias y (3) costes externos. En Mavrotas et al. (2015), se desarrolló un modelo de programación matemática multiobjetivo para proporcionar las soluciones candidatas (óptimas de Pareto) para un sistema de gestión de RSU que realiza la optimización estructural, de diseño y operativa. Se incorporan los costes/beneficios externos asociados con (1) los impactos de la contaminación atmosférica (2) los impactos en el suelo y las aguas subterráneas (3) los impactos en la calidad de vida (4) el uso/desplazamiento de la electricidad y (5) la reducción del uso de fertilizantes a partir del compost.

Tabla 2: Artículos sobre reciclaje e incineración de residuos urbanos. Elaboración propia.

Artículo	País	Resultados	Método	Impactos externos
(Silva et al., 2019)	Brasil	Energía a un promedio del 15% de la población.	Análisis Energético y económico	No se considera
(Xin-Gang et al., 2016)	China	Beneficio neto: 25% ROI: 18% Período de recuperación: 12,73 años TIR: 10,94%.	PEST y Análisis Coste-Beneficio	No se considera
(Jamasb & Nepal, 2010)	Reino Unido	Socialmente rentable en comparación con la energía a partir del carbón.	Análisis Coste-Beneficio Social	Emisiones de contaminante, daños medioambiente y salud, molestias y reducción uso de carbón y vertederos
(Rivas Casado et al., 2017)	Inglaterra	Precios locales de la vivienda osciló entre aproximadamente el 0,4% y el 1,3%	Método de precios hedónicos	Molestias generadas por los incineradores
(Sun et al., 2017)	Shenzhen, China	Valor de los bienes inmuebles puede aumentar en un 1,3% por Km.	Método de precios hedónicos	Molestias generadas por los incineradores
(Gradus et al., 2017)	Países Bajos	El precio implícito de reducir una tonelada de CO ₂ es 178 € bajo el esquema actual de reciclaje de residuos plásticos, que es sustancialmente más que los precios actuales de European Emissions Trading scheme.	Análisis coste-efectividad	Coste de oportunidad de los plásticos y de energía
(Panepinto et al., 2016)	Turín, Italia	La conveniencia ambiental corresponde a la configuración cogenerativa (generación energía eléctrica y térmica).	Análisis de Costes	Costes de emisiones de CO ₂ y CH ₄ evitadas
(Martinez-Sanchez et al., 2015)	NA	Modelo de costes para evaluar sistemas de Reciclaje, compostaje, incineración y vertido.	Life Cycle Costing (LCC)	Emisiones al aire, al agua y al suelo que afectan la salud humana, perturban el medio ambiente natural y causan el cambio climático, costes por molestias, ruidos y congestiones.
(Mavrotas et al., 2015)	NA	Modelo de costes para evaluar sistemas de Reciclaje, compostaje, incineración y vertido.	Optimización multiobjetivo	Costes de Impactos de la contaminación atmosférica, Impactos en el suelo y las aguas subterráneas, impactos en la calidad de vida, uso / desplazamiento de la electricidad y reducción del uso de fertilizantes a partir del compost.

2.1.3.1 Metodología para el análisis técnico-económico de la gestión de RSU

Para el desarrollo del presente caso de estudio se adaptará al campo de los residuos sólidos urbanos, la metodología presentada en Seguí-Amórtégui et al. (2014), en donde se presentó una herramienta metodológica para el análisis técnico-económico para los Sistemas de Regeneración y Reutilización de Aguas Residuales (SRRAR) basada en el análisis coste-beneficio social teniendo en consideración impactos privados y externos.

El Análisis de Coste-Beneficio (CBA) es una herramienta analítica para juzgar las ventajas o desventajas económicas de una decisión de inversión al evaluar sus costes e ingresos con el fin de evaluar el cambio de bienestar atribuible a ella (European Commission, 2014). Los fundamentos teóricos esenciales del CBA son que los ingresos se definen como aumentos en el bienestar humano (utilidad) y los costes se definen como reducciones en el bienestar humano. Para que un proyecto o política califique por razones de coste-beneficio, sus ingresos sociales deben exceder sus costes sociales (Atkinson and Mourato, 2015).

En específico, el Social CBA (sCBA) evalúa un proyecto desde el punto de vista de la sociedad en su conjunto. Aunque el dinero se utiliza como una unidad común en la que se pueden expresar los costes y beneficios sociales y ambientales, el enfoque está en el bienestar. Al utilizar el dinero como unidad de cuenta, el bienestar puede medirse y compararse entre proyectos (Hoogmartens et al., 2014).

La metodología está constituida por siete pasos que deben cumplirse para su aplicación, como se muestra en la *Figura 4*: 1) definición del objetivo, 2) definición del alcance del estudio, 3) impactos del proyecto, 4) identificación de las partes interesadas involucradas, 5) estudio de necesidades y posibilidades financieras, 6) agregación de costos e ingresos, y 7) análisis de sensibilidad.

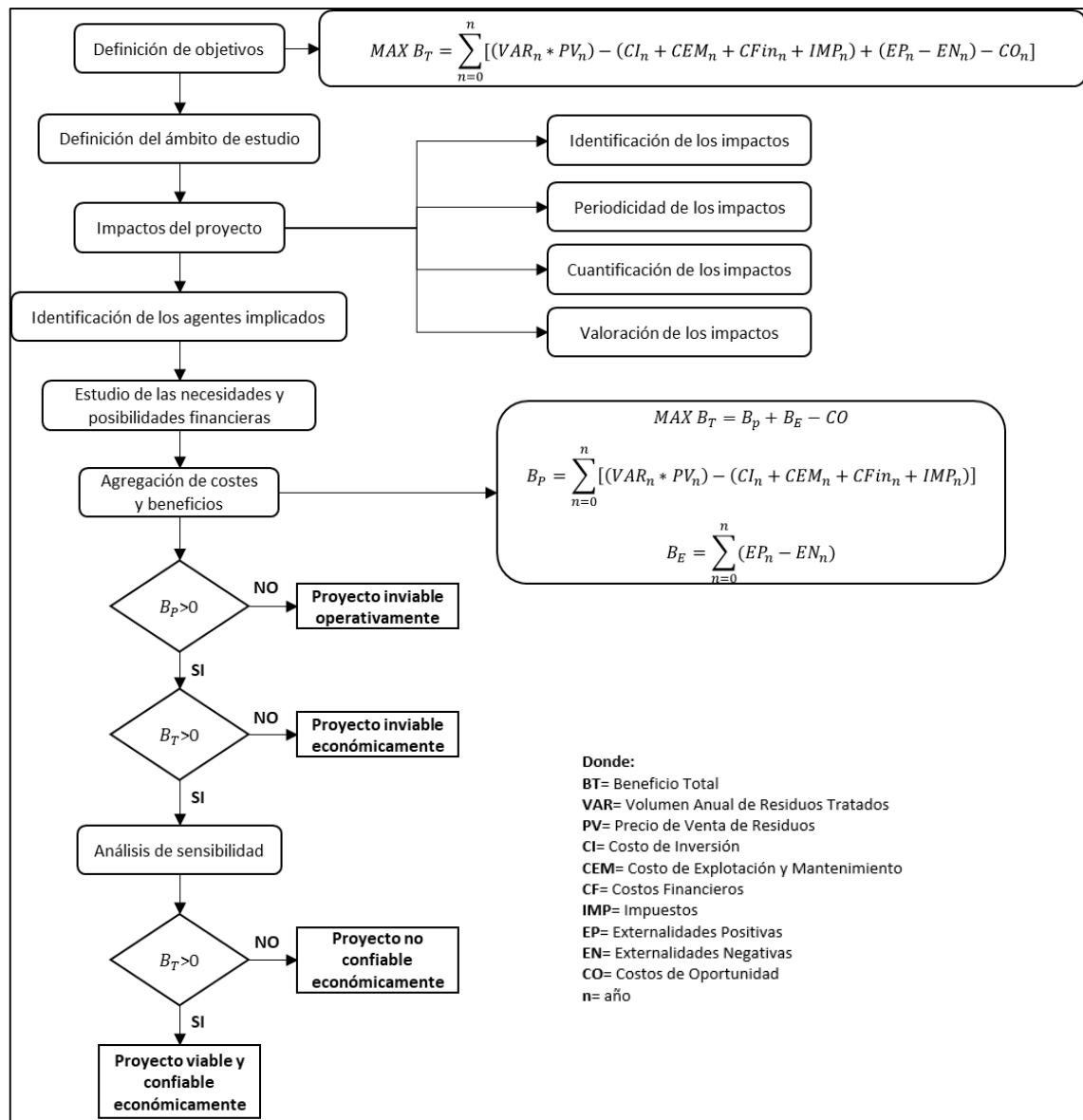


Figura 4: Etapas para el análisis técnico-económico. Seguí-Amórtegui et al. (2014).

3 MARCO NORMATIVO

A continuación, se exponen el principal marco normativo a partir del cual se plantea el presente estudio.

3.1 Constitución Española

Según la constitución española en su artículo 45, se desprenden los siguientes puntos:

1. Todos tienen el derecho a disfrutar de un medio ambiente adecuado para el desarrollo de la persona, así como el deber de conservarlo.
2. Los poderes públicos velarán por la utilización racional de todos los recursos naturales, con el fin de proteger y mejorar la calidad de la vida y defender y restaurar el medio ambiente, apoyándose en la indispensable solidaridad colectiva.
3. Para quienes violen lo dispuesto en el apartado anterior, en los términos que la ley fije se establecerán sanciones penales o, en su caso, administrativas, así como la obligación de reparar el daño causado.

Atendiendo a la carta Magna se observa la voluntad del estado español de dotar de derechos medioambientales a sus ciudadanos, de velar por la conservación y protección del medio ambiente y de punir a quienes degraden el medio ambiente, estableciendo así la responsabilidad medioambiental.

Asimismo, en el artículo 148 de la constitución española, las competencias en materia de medio ambiente son cedidas a las comunidades autónomas, en nuestro caso concreto de estudio a la Generalitat de Catalunya.

3.2 Directiva 2008/98/CE del Parlamento Europeo y Del Consejo de 19 de noviembre de 2008

La presente Directiva 2008/98/CE (AJA, 2008), viene a revisar el régimen jurídico de los residuos existente en la Unión Europea, con objeto de:

- Aclarar conceptos clave, como las definiciones de residuos, subproductos, reciclado, recuperación, valorización y eliminación;
- Reforzar las medidas que deben tomarse respecto a la prevención de residuos;

- Introducir un enfoque que tenga en cuenta no sólo la fase de residuo sino todo el ciclo de vida de los productos y materiales;
- Centrar los esfuerzos en disminuir el impacto en el medio ambiente de la generación y gestión de residuos, reforzando así el valor económico de los residuos;
- Fijar nuevos objetivos de reciclado para el año 2020;
- Fomentar la prevención de los residuos, imponiendo a los estados miembros la obligación de elaborar programas nacionales de prevención;
- Otorgar una mayor claridad y legibilidad a la antigua directiva 2006/12/CE;
- Establecer un orden de prioridades en la legislación y la política sobre la prevención y la gestión de los residuos, según la cual la prevención es la opción preferida, seguida por la preparación para la reutilización, el reciclado, otro tipo de valorización, por ejemplo, la valorización energética y la eliminación como último recurso;
- Derogar las directivas 75/439/CEE, 91/689/CEE y 2006/12/CE a partir del 12 de diciembre de 2010.

3.2.1 Objeto y ámbito de aplicación

La presente Directiva establece medidas destinadas a proteger el medio ambiente y la salud humana mediante la prevención o la reducción de los impactos adversos de la generación y gestión de los residuos, la reducción de los impactos globales del uso de los recursos y la mejora de la eficacia de dicho uso.

3.2.2 Exclusiones del ámbito de aplicación

Queda excluido lo siguiente del ámbito de aplicación de la presente Directiva:

- a. Los efluentes gaseosos emitidos en la atmósfera;
- b. La tierra (in situ) incluido el suelo no excavado contaminado y los edificios en contacto permanente con la tierra;
- c. Suelo no contaminado y demás material en estado natural excavado durante las actividades de construcción cuando se tiene la certeza de que el material se utilizará a efectos de construcción en su estado natural en el sitio del que se extrajo;
- d. Los residuos radiactivos;
- e. Explosivos desclasificados;

- f. Materias fecales, si no están contempladas en el apartado 2.b), paja y otro material natural, agrícola o silvícola, no peligroso, utilizado en la agricultura, en la silvicultura o en la producción de energía a base de esta biomasa, mediante procedimientos o métodos que no dañen el medio ambiente o pongan en peligro la salud humana.

Además, también se contemplan las siguientes exclusiones en la medida en que ya estén cubiertas por otra normativa comunitaria:

- a. Aguas residuales;
- b. Subproductos animales, incluidos los productos transformados cubiertos por el reglamento (ce) no 1774/2002, excepto los destinados a la incineración, los vertederos o utilizados en una planta de gas o de compostaje;
- c. Cadáveres de animales que hayan muerto de forma diferente al sacrificio, incluidos los que han sido muertos con el fin de erradicar epizootias, y que son eliminados con arreglo al reglamento (ce) no 1774/2002;
- d. Residuos resultantes de la prospección, de la extracción, del tratamiento o del almacenamiento de recursos minerales, así como de la explotación de canteras cubiertos por la directiva 2006/21/ce del parlamento europeo y del consejo, de 15 de marzo de 2006, sobre la gestión de los residuos de industrias extractivas.

3.2.3 Subproductos

En la presente Directiva se hace un considerable esfuerzo por aclarar el concepto de residuo y distinguirlo del concepto de subproducto, así se considerará que

“Una sustancia u objeto, resultante de un proceso de producción, cuya finalidad primaria no sea la producción de esa sustancia u objeto, puede ser considerada como subproducto y no como residuo con arreglo al artículo 3, punto 1, únicamente si se cumplen las siguientes condiciones:

- a. Es seguro que la sustancia u objeto va a ser utilizado ulteriormente;
- b. La sustancia u objeto puede utilizarse directamente sin tener que someterse a una transformación ulterior distinta de la práctica industrial normal;
- c. La sustancia u objeto se produce como parte integrante de un proceso de producción; y
- d. El uso ulterior es legal, es decir la sustancia u objeto cumple todos los requisitos pertinentes para la aplicación específica relativos a los productos y a la protección del medio ambiente y de la salud, y no producirá impactos generales adversos para el medio ambiente o la salud humana.”

Además, se permite que algunos residuos específicos dejen de ser residuos, cuando hayan sido sometidos a una operación, incluido el reciclado, de valorización y cumplan los criterios específicos que se elaboren.

3.2.4 Protección de la salud humana y el medio ambiente

Los Estados miembros adoptarán las medidas necesarias para asegurar que la gestión de los residuos se realizará sin poner en peligro la salud humana y sin dañar al medio ambiente y, en particular:

- a. Sin crear riesgos para el agua, el aire o el suelo, ni para la fauna y la flora;
- b. Sin provocar incomodidades por el ruido o los olores; y
- c. Sin atentar contra los paisajes y los lugares de especial interés

3.2.5 Costes

De acuerdo con el principio de quien contamina paga, los costes relativos a la gestión de los residuos tendrán que correr a cargo del productor inicial de residuos, del poseedor actual o del anterior poseedor de residuos.

Además, los Estados miembros podrán decidir que los costes relativos a la gestión de los residuos tengan que ser sufragados parcial o totalmente por el productor del producto del que proceden los residuos y que los distribuidores de dicho producto puedan compartir los costes.

3.2.6 Responsabilidad de la gestión de residuos

Se establece en la Directiva 2008/98/CEE, que los Estados miembros adoptarán las medidas necesarias para garantizar que cualquier productor inicial de residuos u otro poseedor realice el tratamiento de residuos por sí mismo o encargue su realización a un negociante o a una entidad o empresa que lleve a cabo operaciones de tratamiento de residuos, o su organización a un recolector de residuos público o privado.

3.2.7 Expedición de autorizaciones

Respecto a la exigencia de autorizaciones se señala que los Estados miembros exigirán a cualquier entidad o empresa que tenga intención de llevar a cabo el tratamiento de residuos que obtenga una autorización de la autoridad competente.

Estas autorizaciones especificarán, al menos, lo siguiente:

- a. Los tipos y cantidades de residuos que pueden tratarse;

- b. Para cada tipo de operación autorizada, los requisitos técnicos y de cualquier otro tipo aplicables al sitio correspondiente;
- c. Las medidas de seguridad y precaución que deberán tomarse;
- d. El método que se utilizará para cada tipo de operación;
- e. Las operaciones de supervisión y de control que puedan resultar necesarias;
- f. Las disposiciones relativas al cierre y al mantenimiento posterior que puedan ser necesarias.

Las autorizaciones podrán concederse para un período determinado y podrán ser renovables.

Cuando la autoridad competente considere que el método de tratamiento previsto es inaceptable desde el punto de vista de la protección del medio ambiente, en particular cuando el método no se ajuste a lo dispuesto en el artículo 13, denegará la expedición de la autorización.

Cualquier autorización para incineración o co-incineración con valorización energética tendrá como condición que esta valorización de energía se produzca con un alto nivel de eficiencia energética.

Siempre que se respeten los requisitos del presente artículo, cualquier autorización obtenida con arreglo a otra normativa nacional o comunitaria podrá combinarse con la autorización requerida en virtud del apartado 1 para formar una única autorización, cuando ello evite la duplicación innecesaria de información y la repetición del trabajo por parte del operador o de la autoridad competente.

3.2.8 Exenciones de los requisitos de autorización

Los Estados miembros podrán eximir de la necesidad de obtener la autorización, a las entidades o empresas que realicen las siguientes operaciones:

- a. La eliminación de sus propios residuos no peligrosos en el lugar de producción, o
- b. La valorización de residuos.

3.2.9 Programas de prevención de residuos

Los Estados miembros elaborarán, con arreglo a los artículos 1 y 4, programas de prevención de residuos a más tardar el 12 de diciembre de 2013.

3.2.10 Disposiciones derogatorias y transitorias

Quedan derogadas las Directivas 75/439/CEE, 91/689/CEE y 2006/12/CE a partir del 12 de diciembre de 2010.

3.2.11 Entrada en vigor

La presente Directiva entrará en vigor a los veinte días de su publicación en el Diario Oficial de la Unión Europea.

3.3 Llei 16/2017, de l'1 d'agost, del canvi climàtic

La Ley 16/2017, del 1 de agosto, del cambio climático tiene como finalidades reducir las emisiones de gases invernadero y favorecer la transición hacia una economía neutra en emisiones (Generalitat de Catalunya, 2017).

El Parlamento de Cataluña ha aprobado la Ley de cambio climático, que adopta las bases derivadas de la legislación comunitaria europea y configura los elementos esenciales para la regulación de este instrumento a nuestro país.

La Ley pretende alcanzar cinco finalidades:

1. Conseguir que Cataluña reduzca tanto las emisiones de gases invernadero (*GEH) y favorecer la transición hacia una economía baja en carbono.
2. Reforzar y ampliar las estrategias y los planes que se han elaborado durante los últimos años.
3. Promover y garantizar la coordinación de todas las administraciones públicas catalanas, y fomentar la participación de la ciudadanía, de los agentes sociales y de los agentes económicos.
4. Acontecer un país líder en la investigación y aplicación de nuevas tecnologías, y reducir la dependencia energética de Cataluña de recursos energéticos externos.
5. Hacer visible el papel de Cataluña en el mundo, tanto en los proyectos de cooperación como en la participación en los foros globales de debate sobre el cambio climático.

El año 2014, el Departamento de Territorio y Sostenibilidad abrió un proceso de debate, en colaboración con el Programa de Innovación y Calidad Democrática, con la voluntad que la ciudadanía pudiera conocer la estructura de la Ley y recibir las propuestas que nuestros conciudadanos quisieran realizar.

Del 26 de mayo al 12 de junio de 2015, el texto del Anteproyecto de ley de cambio climático se sometió al trámite de información pública.

El Consejo Ejecutivo reunido el 20 de octubre de 2015 terminó los trabajos del Anteproyecto de ley de cambio climático y el 26 de enero de 2016, el Gobierno aprobó el Proyecto de ley de cambio

climático. Finalmente, el 27 de julio de 2017 el Parlamento de Cataluña aprueba la Ley del cambio climático.

La Ley está afectada por la Sentencia 87/2019, de 20 de junio de 2019 del Tribunal Constitucional. Recurso de Inconstitucionalidad 5334-2017.

3.4 Ley 20/2009, de 4 de diciembre, de prevención y control ambiental de las actividades.

La Ley 20/2009, de prevención y control ambiental de las actividades (PCAA) entró en vigor en agosto de 2010, momento en que quedó derogada la Ley 3/1998, de intervención integral de la Administración Ambiental (Departamento de Territorio y Sostenibilidad 2018)

La Ley 20/2009 se aplica a las actividades de titularidad pública y privada emplazadas en Catalunya.

Los regímenes a los que se someten las diferentes categorías de actividades, enumeradas en los anexos I, II y III de la Ley 20/2009, atendiendo a la mayor o a la menor incidencia ambiental, son los siguientes:

- Autorización ambiental con declaración de impacto ambiental, ordinaria o simplificada, (anexos I.1 y I.2)
- Declaración de impacto ambiental con una autorización sustantiva (anexo I.3)
- Licencia ambiental con declaración de impacto ambiental, si procede (anexo II)
- Comunicación (anexo III)
- Intervención ambiental de actividades temporales, móviles y de investigación.
- Intervención ambiental en actividades de competencia municipal sectorial.

La Ley 20/2009 se limita únicamente a los aspectos ambientales, dejando fuera de su alcance materias como la seguridad y la salud de las personas. Así mismo, la Ley 20/2009 sí que integra la legislación relativa a accidentes graves.

4 CONTEXTO SOCIAL Y ECONÓMICO CIRCUNDANTE EN TERSA Y SEMESA.

En la valoración y comprensión de las instalaciones analizadas en este estudio se requiere de un análisis conjunto de capacidades industriales de las instalaciones junto a un análisis del entorno físico de las mismas. Dicho análisis del entorno permite comprender y afinar la valoración del estudio técnico-económico incorporando elementos como la ubicación en entornos urbanos, o las inversiones inmobiliarias realizadas en los alrededores que tendrán un impacto directo en el análisis.

4.1 Contexto industrial en SEMESA

Las instalaciones de SEMESA se presentan como un importante elemento local en la economía circular, capaces de generar sinergias positivas con industrias locales y de dar servicios de gestión de residuos a los municipios circundantes.

4.1.1 Parque Empresarial Gavà

Bordeando SEMESA por su vertiente noroeste se encuentra el parque empresarial de Gavà ([Figura 5](#)), un conjunto de seis polígonos de actividad económica tanto industrial como de servicios. Los polígonos son los siguientes:

- Les Massotes
- La Post
- Les Parets
- El Camí Ral
- El Regàs
- La Marina



Figura 5: Ubicació del Parc Empresarial Gavà. En color amarillo se muestra el polígono industrial El Camí del Regàs (ubicació de SEMESA). Ajuntament de Gavà (2019).

4.1.2 Parc agrari Baix Llobregat

El Parque Agrario del Bajo Llobregat forma parte de la Red de Espacios Naturales protegidos, promovidos y gestionados por la Diputación de Barcelona.

El Parque Agrario del Baix Llobregat está situado en las llanuras aluviales del delta y la cuenca baja del río Llobregat, en la comarca del Bajo Llobregat, que ocupan una posición central dentro de la región metropolitana de Barcelona.

Concretamente para nuestro caso de estudio el Parc Agrari del Baix Llobregat envuelve a SEMESA en su vertiente sureste.

4.2 Contexto urbano en SEMESA

SEMESA está rodeada fundamentalmente por terreno de uso industrial y de uso agrario y por terrenos de espacios naturales protegidos.

No obstante, el suelo urbano cercano a SEMESA se encuentra cerca de los municipios de Viladecans y Gavà, de 66.168 y 46.250 habitantes respectivamente.

4.3 Contexto industrial en TERSA

TERSA es parte integrante del suelo industrial del distrito 22@ ubicado en los términos municipales de Barcelona y Sant Adrià del Besós. Dentro de dicho distrito proliferan elementos industriales vitales para proveer de servicios estratégicos a la ciudad de Barcelona.

Entre dichos elementos se destacan los siguientes:

4.3.1 Depuradora

La depuradora del Besòs ([Figura 6](#)) está situada entre Sant Adrià de Besòs y Barcelona. Se trata de una de las depuradoras cubiertas integradas al tejido urbano más grandes del mundo y la de más capacidad de procesamiento de Cataluña.

La depuradora del Besòs da servicio además de la mitad de la población del área metropolitana de Barcelona, dado que sanea las aguas residuales del tramo final de la cuenca del Besòs.

Concretamente, trata las aguas de las poblaciones de Badalona, Barcelona (65%), Montgat, Sant Adrià de Besòs, Santa Coloma de Gramenet y Tiana, así como de una pequeña parte del municipio de Montcada i Reixac.

Ubicada en una zona urbana con mucha actividad económica y social se concibe como una infraestructura muy compacta, con dispositivos de renovación de aire y un sistema de lavado químico de olores muy sofisticado que reduce los impactos ambientales.

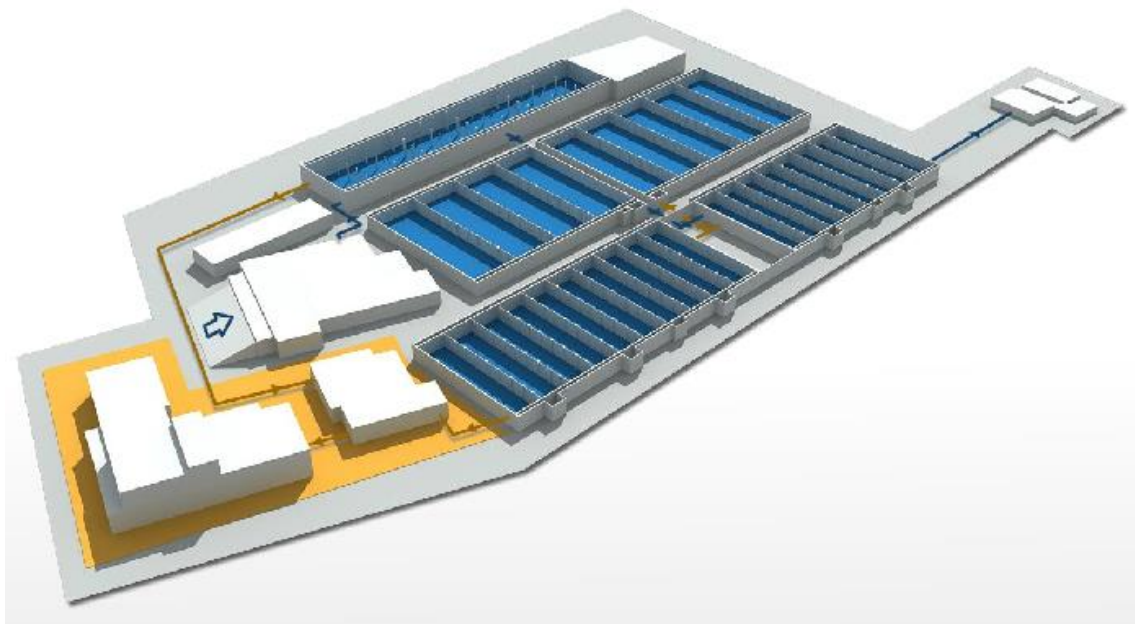


Figura 6: Esquema aéreo de la depuradora del Besòs AMB (2019)a.

Esta planta depura un 36% del total de aguas residuales tratadas por el conjunto de depuradoras metropolitanas.

4.3.2 Ciclos combinados Endesa

La central del Besòs (*Figura 7*) se sitúa en la zona litoral de San Adrián, en una ubicación donde se encuentran otras dos centrales térmicas, la central térmica de San Adrián (o de las tres chimeneas) y el ciclo combinado Besòs V, ambas propiedad de Endesa.

Los trabajos de construcción comenzaron en 2000, siendo adjudicados a Alstom, interviniendo también otras empresas como Duro Felguera. Su coste total fue de 360 millones €, y su conexión a la red se produjo el 21 de junio de 2002. Los dos grupos que la componen son propiedad de Gas Natural Fenosa y Endesa.

La central de ciclo combinado del Besòs es una instalación termoeléctrica de ciclo combinado situada junto a la desembocadura del río Besòs en el Mar Mediterráneo, en el término municipal de San Adrián del Besòs, en la provincia de Barcelona (España). Consta de dos grupos térmicos de 400 MW alimentados con gas natural, fue conectada a la red en 2002 y es propiedad al 50% de Endesa (grupo Besòs III) y Gas Natural Fenosa (grupo Besòs IV).



Figura 7: Central de ciclo combinado del Besós. Endesa Generación (2015).

4.3.3 Districlima

Districlima fue constituida en 2002 para llevar a cabo, por primera vez en España, una red urbana de distribución de calor y frío para su utilización en calefacción, climatización y agua caliente sanitaria.

Inicialmente el proyecto se sitúa en una zona de Barcelona remodelada urbanísticamente para acoger el Foro de las Culturas de 2004 (Frente Litoral del Besòs). El proyecto engloba el diseño, la construcción y la explotación posterior, a través de una concesión a 25 años, de la central de producción del Foro y la red de distribución de energías.

El año 2005, y después de la adjudicación de un concurso público, se inicia una segunda etapa con la extensión de la red al distrito tecnológico del 22@. Con una concesión a 27 años, la red va extendiendo su trazado en función del desarrollo urbanístico de la zona y de las necesidades de conexión de nuevos usuarios.

El funcionamiento de Districlima es sencillo pero eficaz, obteniendo su energía principalmente de la planta de valorización energética de TERSA. Dicha energía se obtiene del vapor no turbinable “Be energy - Entrevista con David Serrano García” (2012) en TERSA (producción eléctrica) que genera un

calor residual, el cual se opta por enviar a Districlima y así mejorar enormemente la eficiencia de la planta de TERSA.

Dicha sinergia no es trivial al generar instalaciones muy complementarias. Asimismo, Districlima distribuye su red de calor y frío a una buena parte del distrito @22 de Barcelona (*Figura 8*), suministrando vitales servicios a edificios neurálgicos para el desarrollo comercial y de negocios de la capital catalana. En cuanto a las empresas que reciben calor y frío por parte de Districlima, estas reciben una energía “renovable”, ahorran espacio para maquinaria de calefacción y frío propia y obtienen unas calificaciones energéticas superiores a las que tendrían si usaran medios convencionales de frío y calor, generando así un fuerte interés por parte de las empresas usuarias en seguir manteniendo y ampliando esta red de calor y frío urbano. La Figura 8 muestra la extensión de Districlima en el distrito 22@.



Figura 8: Implantación de Districlima en el distrito 22@.

4.3.4 La Pèrgola solar del Fòrum

La Pèrgola solar del Fòrum (*Figura 9*) cuenta con una superficie de 112 metros x 50 metros (equivaliendo a un campo de fútbol) con 3.780 m² de paneles solares. La estructura cuenta con cuatro grandes pilares de hormigón de diferentes alturas e inclinaciones, el punto más elevado llega a los 50 metros. Consta de 2686 módulos monocristalinos de isofotones (paneles), que generan un pico de 449 kWp, y un total 1250 kWh/ kWp. Esta potencia generada equivale a la que necesitan 1000 hogares y a un ahorro en emisiones de CO₂ de 440 toneladas al año Ajuntament de Barcelona (2019).



Figura 9: Pèrgola fotovoltaica del Fòrum.

4.4 Contexto urbano en TERSA

A diferencia de SEMESA el entorno urbano de TERSA es mucho más variado, rico y actualmente cuenta con varios planes de inversión a corto-medio plazo, entre los que destacan hoteles, proyectos en el puerto, viviendas de lujo y proyectos de la UPC.

4.4.1 Campus EEBE UPC

La Escuela de Ingeniería de Barcelona Este (EEBE) entró en funcionamiento el curso académico 2016-2017 en el Campus Diagonal-Besòs de la UPC La Vanguardia (2016), con 3.500 estudiantes. Su oferta incluye diferentes grados, másteres, programas de doctorado y centros docentes e investigadores. El centro, ubicado al cruce de las calles Sant Ramon de Penyafort y Eduard Maristany, es el núcleo principal del nuevo Campus, situado en una zona en crecimiento, entre Barcelona y Sant Adrià de Besòs.

Este nuevo espacio universitario de innovación y conocimiento, a caballo de las ciudades de Sant Adrià y Barcelona, ha costado de 96,5 millones de euros, financiados por la Generalitat (25,3 millones), la Diputació (23 millones), Fondo de Desarrollo Regional Europeo (20 millones), UPC (15,9 millones), Disposición adicional Tercera del Estatut (9,9 millones) y una aportación estatal como Campus de Excelencia Internacional (2,1 millones).

Alcaldes de diferentes municipios (Barcelona y Sant Adrià del Besòs) postulan que el nuevo campus tiene que poner en el mapa al Besòs y convertirlo en una nueva centralidad metropolitana, tal como anunció en el plan de barrios que prevé una inversión de 150 millones. Asimismo, desde los órganos directivos y ejecutivos de la Diputación de Barcelona se considera el Campus como un proyecto estratégico.

4.4.2 Port Forum Sant Adrià

El Port Fòrum Sant Adrià es un puerto moderno situado al inicio de la avenida Diagonal de Barcelona. El puerto dispone de varias dársenas y servicios descritos a continuación.

Zona con 210 amarres y totalmente condicionada para dar servicio a embarcaciones de 10 a 25 metros de eslora. Una zona de acceso restringido integrada por los pantalanes A, B, C, D y E. La dársena exterior, integrada por los pantalans F y M, ofrece 31 amarres para grandes esloras de hasta 80 metros.

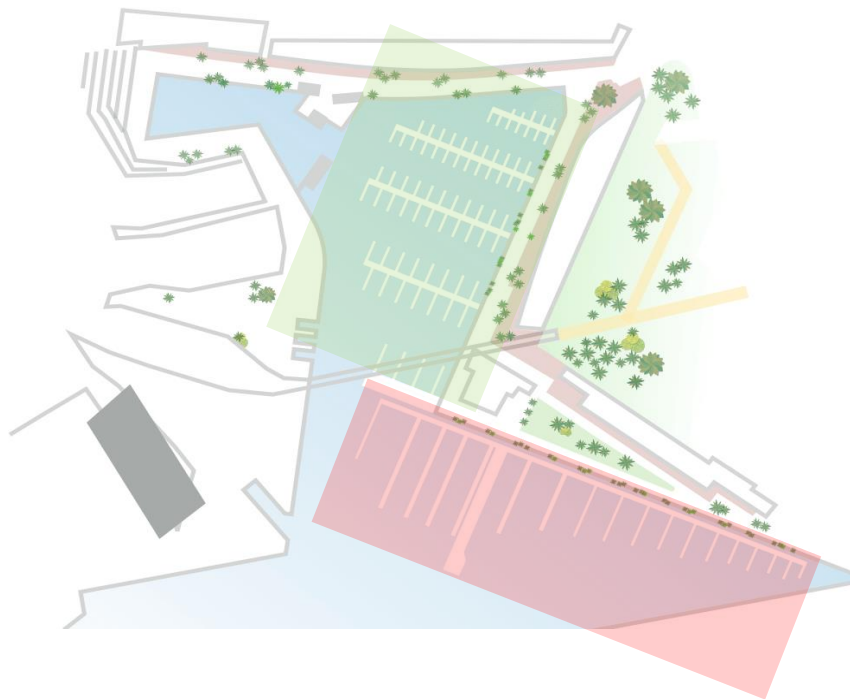


Figura 10: Dársenas del Port Fòrum Sant Adrià. En verde zonas de amarres para embarcaciones entre 10-25 metros. En rojo zona de amarre para superyates.

Asimismo, existen diversos proyectos de colaboración entre el Port Fòrum y el nuevo Campus de la UPC ubicado en avenida Diagonal.

GestForum, poseedora de los derechos de explotación de más de 15.000 metros cuadrados de locales, y plazas de párking y amarres (hasta el 2031), pretende "abrir" el puerto a las ciudades y

comarcas de su alrededor y convertirse, a partir del año 2020, en un espacio de transmisión de conocimiento que combine actividades de ocio y restauración para todos los públicos El Periódico (2019). La inversión prevista en la zona alcanza los 20 millones de euros.

La transformación prevista para esta área coincidirá con la construcción de un hotel de lujo gestionado por Hard Rock, mencionado en el apartado 4.4.3.1 para 2022.

4.4.3 Desarrollo de futuras infraestructuras y servicios

4.4.3.1 *Hard Rock Café*

La cadena estadounidense ha empezado a construir su futuro hotel en el Port Fòrum de Sant Adrià de Besós, en la frontera con Barcelona Jorro (2019). El Hard Rock Hotel de Barcelona abrirá con 504 habitaciones en 2022. Las instalaciones, conllevarán la inversión de 200 millones de euros. Los fondos servirán para elevar el alojamiento de lujo junto al Port Fòrum, al norte de Barcelona. El proyecto creará unos 650 puestos de trabajo.

4.4.3.2 *Edificio Diagonal 0*

El nuevo edificio “*Diagonal 0*” tiene su origen en el antiguo edificio “*esqueleto*”, un complejo de 23 plantas abandonado en el año 2009 por falta de presupuesto, que dejó una estampa lúgubre en la zona de Diagonal Mar.

Dicho nuevo edificio pretende a través de la prestigiosa arquitecta francesa Odile Decq crear un nuevo espacio para la venta de 89 viviendas de lujo Fernández (2019).

4.4.3.3 *Hotel Mariotte*

En las inmediaciones del Port Fòrum, la multinacional hotelera Mariott planea la edificación de un gran hotel Jorro (2017). La estructura contará con una superficie de 50.000 m² edificables y se busca la posibilidad de edificar más de 4 alturas (a pesar de las posibles incompatibilidades urbanísticas).

5 INSTALACIONES DE TRATAMIENTO DE RESIDUOS A ANALIZAR

En el presente apartado se propone describir y analizar los procesos desarrollados en las instalaciones de SEMESA (AMB 2018) y TERSA (TERSA 2019a).

La planta de selección de envases ligeros de SEMESA dispone de diversas líneas de separación de envases ligeros y de residuos voluminosos basadas en procedimientos de separación mecánicos, tales como trómeles, detección visual o separación manual.

Por otro lado, TERSA, integrada en la Planta Integral de Valorización de Residuos (PIVR) de Sant Adrià de Besòs es una instalación de tratamiento integral de los residuos municipales del área Metropolitana de Barcelona (AMB), en la cual conviven dos instalaciones con dos procesos de tratamiento diferenciados y complementarios.

- Tratamiento Mecánico – Biológico (Ecoparc3): instalación puesta en marcha en 2006 donde se valoriza materialmente y energéticamente la fracción resto procedente del contenedor gris.
- Valorización Energética (TERSA), instalación puesta en marcha en 1975, que valoriza energéticamente el rechazo de la planta del tratamiento mecánico y otras plantas metropolitanas, procedentes de la recogida municipal.

En los siguientes apartados se procede a hacer una descripción de los elementos integrantes de SEMESA y TERSA, sus tratamientos y productos obtenidos.

5.1 SEMESA

5.1.1 Llegada de las fracciones a separar y valorizar

Los camiones del servicio de recogida municipal llegan cargados con residuos urbanos valorizables (contenedor amarillo, voluminosos y restos de poda) a SEMESA. Acto seguido, los residuos se pesan e identifican para conocer su procedencia, volumen de residuos transportados y la tipología de residuos.

5.1.2 Selección de voluminosos y madera

Una parte de la fracción de los residuos que llegan a SEMESA se destinan a la trituración de la madera y acumulación de las astillas resultantes en silos para su posterior venta directa.

5.1.3 Criba de doble cuerpo

El proceso de selección de envases ligeros se inicia con la separación de sólidos por tamaño (pequeño, mediano, grande). Los residuos más pequeños contienen materia orgánica. Los residuos medianos contienen un poco de materia orgánica y sobretodo materiales reciclables. Los residuos grandes incluyen mayoritariamente materiales reciclables.

Los residuos en su tránsito a través del trómel (Figura 11) pasan por dos cilindros. El primero con agujeros pequeños (70 mm, criba de objetos pequeños) y el segundo con agujeros más grandes (150x300 mm, criba de objetos medianos). Los objetos grandes quedan al final del trómel, tras pasar por los dos cedazos.



Figura 11: Trómel rotativo con doble criba, como el utilizado en SEMESA.

5.1.4 Separador balístico

Separa los residuos medianos salidos del trómel de doble cuerpo en tres tipos: los residuos planos y ligeros, los finos y los rodantes. Los residuos finos son materia orgánica. Los residuos planos y los rodantes continúan el proceso de la selección para acabar de separarlos por material. Los finos se unen a los residuos pequeños extraídos por el trómel de doble cuerpo.

Unas planchas perforadas e inclinadas seleccionan los residuos, de forma que los rodantes caen hacia atrás, los planos y ligeros suben mientras que los finos se cuelan por los agujeros. La Figura 12 muestra el esquema del separador balístico.

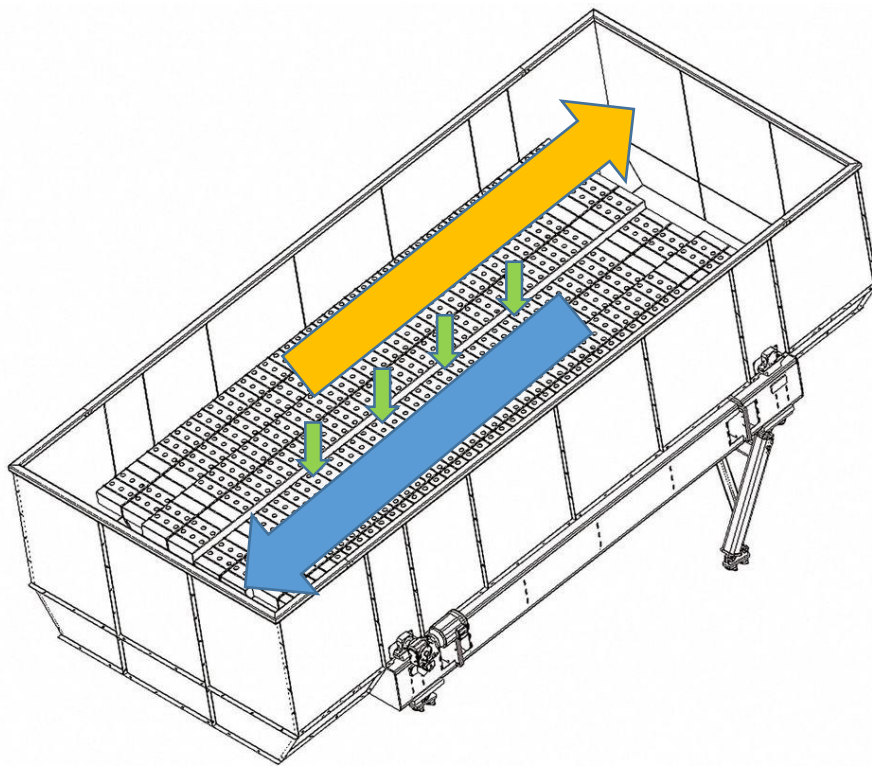


Figura 12: Separador balístico. En naranja residuos ligeros, en azul residuos rodantes y en verde residuos finos.

5.1.5 Aspirador

Separa los residuos planos y ligeros que han quedado enganchados entre los rodantes de la cinta balística. Aspira los materiales más ligeros.

5.1.6 Tratamiento manual final

Finalmente, grupos de trabajadores extraen cartón, vidrio y residuos voluminosos como última criba. Dicha operación se produce mediante cadena de montaje a través una cinta transportadora en la que cada operario está especializado en identificar un tipo de material.

5.1.7 Separadores ópticos

Extraen más plástico transparente (poliestireno teraftalato) y opaco (polietileno de alta densidad) de los residuos que no se han separado en la cabina de selección.

Escanean los residuos que pasan por una cinta. Cada separador está programado para identificar un tipo determinado de material. Cuando identifica un objeto de ese material, produce una corriente de aire que lo separa de la cinta principal.

5.1.8 Inductor de Foucault

Separa los residuos que contienen aluminio. Induce una corriente eléctrica que repele los residuos con aluminio y los separa del resto. La [Figura 13](#) muestra un esquema del equipo.

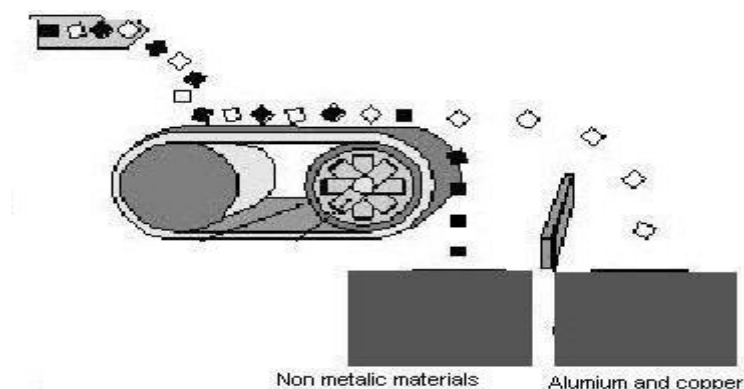


Figura 13: Esquema de inductor de Foucault.

5.2 TERSA

5.2.1 Descarga

Gran parte del rechazo tratado en la zona proviene del tratamiento mecánico-biológico. Una cinta subterránea transporta el rechazo de la nave de tratamiento mecánico hasta el foso de valorización energética.

Asimismo, llegan camiones con rechazo de otras plantas, que descargan los residuos en el foso de valorización energética.

Los trabajadores van cogiendo continuamente los residuos del foso con un pulpo y los transportan hasta la entrada del horno.

5.2.2 Generación de energía

El rechazo del tratamiento mecánico-biológico proveniente del Ecoparc3 y otras plantas metropolitanas se quema en el horno.

Los gases producidos se conducen a través de una caldera, donde calientan agua hasta convertirla en vapor.

El vapor producido mueve dos turbinas, encargadas de producir la electricidad. El calor residual sobrante se utiliza para producir calor a través del sistema Districlima.

A continuación, se describen en detalle los equipos presentes en la generación de energía.

5.2.2.1 Horno

Un empujador introduce los residuos en uno de los tres hornos (Figura 14), por la parte superior. Dentro del horno se ubican tres grupos de parrillas fijas y resbaladizas que hacen descender los residuos a velocidad controlada para quemar la mezcla concreta de materiales que haya (el residuo es variable). Para mantener el fuego, se inyecta aire que se extra del foso. Por encima de las parrillas hay un quemador de gas natural, que se enciende automáticamente en caso de que la temperatura de los gases descienda de los 850 °C. A continuación, para neutralizar los óxidos de nitrógeno que aparecen a consecuencia de la combustión se inyecta urea.

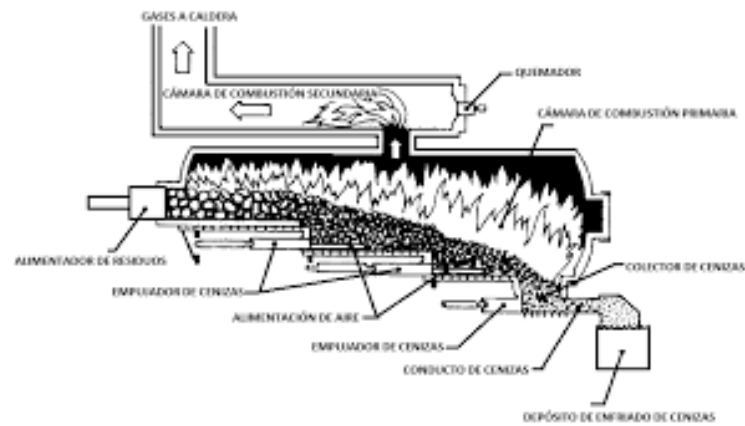


Figura 14: Esquema de incinerador de parrilla.

5.2.2.2 Caldera tubular

El agua de la caldera se calienta hasta la formación de vapor con los gases calientes provenientes del horno.

Los gases, emitidos por el horno a 850°C, son conducidos alrededor de un serpentín lleno de agua. Al pasar junto al serpentín, el calor es transmitido al agua que se calienta a 400°C genera vapor sobrecalentado (Figura 15).

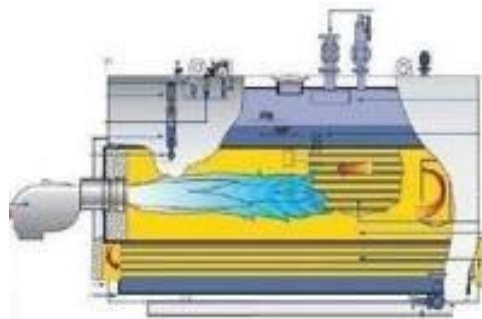


Figura 15: Esquema de caldera tubular.

5.2.2.3 Turbinas

El vapor del agua de la caldera es conducido a través de la turbina. Al pasar, hace girar las paletas del rotor. Este movimiento transmite a través del eje a un alternador, que a su vez hace girar unos manees junto a unos cables eléctricos. Este movimiento de los imanes genera un campo magnético variable alrededor de los cables, y con ello una corriente eléctrica.

5.2.2.4 Condensadores

La Figura 16 muestra como el vapor de agua atraviesa un tanque lleno de agua de mar fría a través de un serpentín. Transmite el calor al agua de mar y se enfría hasta volver a estado líquido.

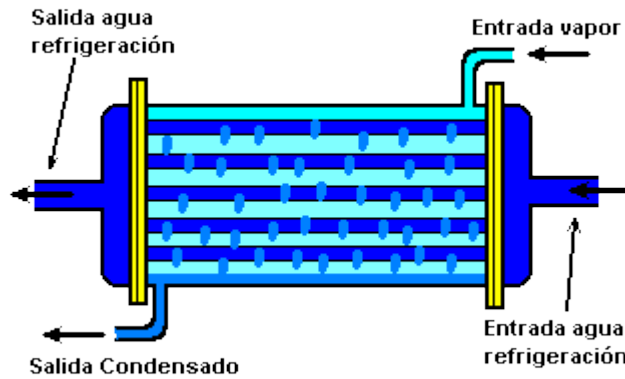


Figura 16: Esquema de condensador de vapor.

5.2.3 Depuración de gases

Después de la combustión, los gases de incineración se depuran para evitar emitir contaminantes a la atmósfera.

El proceso de depuración permite eliminar, hasta niveles muy por debajo de los límites legales, partículas sólidas, gases ácidos, dioxinas, metales y partículas muy finas.

Para garantizar la calidad de la depuración, la PIVR tiene un sistema de medición en continuo, que controla en todo momento los niveles de estas y otras sustancias.

A continuación, se describen los equipos presentes en la depuración de gases.

5.2.3.1 Electrofiltro

Los gases de la combustión en el horno atraviesan horizontalmente una cámara con electrodos verticales, que cargan eléctricamente las partículas sólidas en suspensión. Junto a los electrodos hay unas planchas metálicas que atraen las partículas y las retienen (Figura 17). Periódicamente las planchas se golpean para desprender las partículas, que se recogen en una tolva en la parte inferior de la cámara.

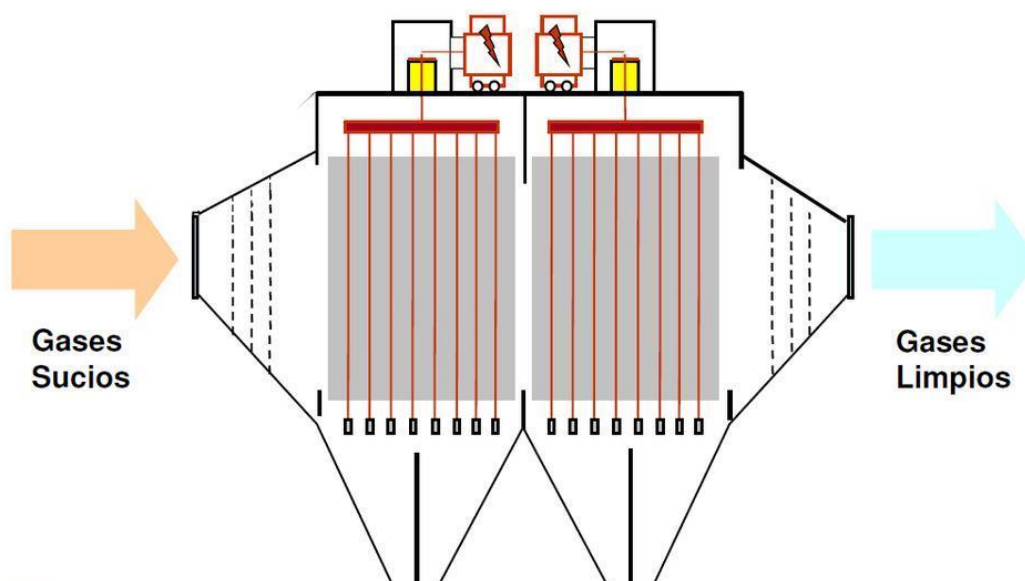


Figura 17: Esquema electrofiltro industrial.

5.2.3.2 Atomizador y absorbedor de gases

Los gases emitidos del electrofiltro son rociados con cal hidratada (Ca(OH)_2). Los ácidos clorhídrico y fluorhídrico reaccionan con la cal y dan como resultado una mezcla de agua y sales (CaCl_2 y CaF_2).

5.2.3.3 Sistema de reducción catalítica

Se dispone de un Sistema de Reducción Catalítica (en adelante, SRC) de los NO_x de la Planta de Valorización Energética de residuos municipales que sustituye al antiguo Sistema de Reducción No Catalítico (ver Anexo 4: Autorizaciones ambientales de TERSA y declaraciones ambientales de SEMESA y TERSA (2017)).

El SRC se basa en la inyección de amoníaco como agente reductor de los gases de combustión, atravesando posteriormente la cámara de reacción que contiene un catalizador. Para ser efectivo el catalizador requiere una temperatura de trabajo comprendida entre 220-340 °C según los casos, llegando incluso a los 160°C.

El SRC se ubica en la salida del sistema de depuración de gases encargado de tratar los gases ácidos previamente y de sus partículas presentes en los gases de combustión.

5.2.3.4 Inyección de carbón activo

A la salida del absorbedor, se inyecta carbón activo sólido al flujo de gases. El carbón absorbe las dioxinas y los metales que contienen.

5.2.3.5 Filtro de mangas

Extrae las partículas finas, incluidas las partículas de combustión, la cal micronizada y el carbón activo micronizado.

El aire pasa a través de unas mangas de un tejido muy tupido, que retienen las partículas finas. Cuando las mangas están llenas, se hace pasar aire a contracorriente y el polvo retenido cae en la parte inferior de la cámara (Figura 18).

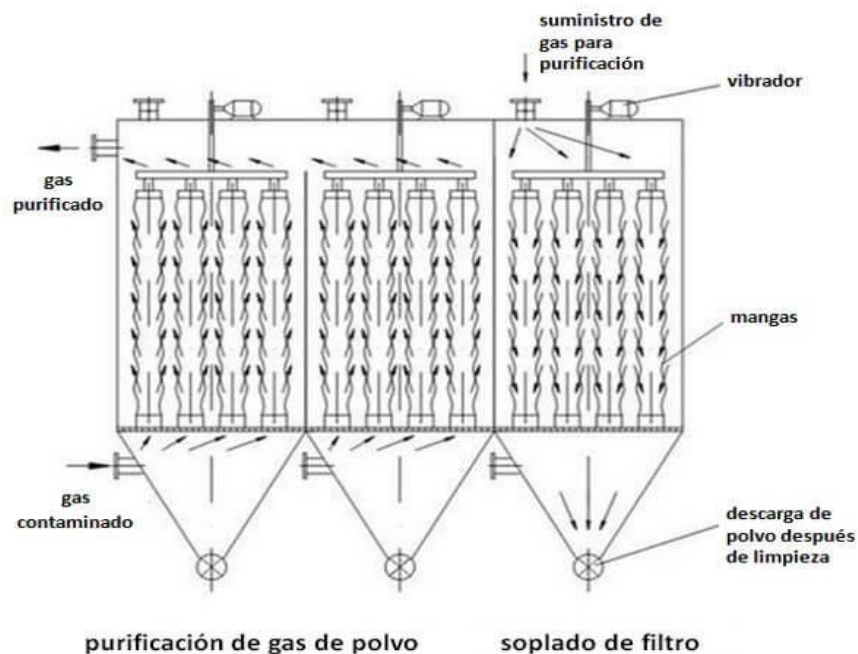


Figura 18: Filtro de mangas.

5.2.3.6 Chimenea

Expulsa los gases producto de la incineración en las condiciones exigidas por la legislación, es decir, sin superar los umbrales de concentración exigidos.

Libera los gases depurados y dispone de un sistema de medición en continuo que permite conocer los niveles de contaminantes en todo momento.

5.2.4 Separación de escorias

Los materiales sólidos que salen del horno se recogen, se enfrían y se separan para reciclarlos (metales) o aprovecharlos como base para carreteras y otras obras civiles.

5.2.4.1 *Canal de escorias*

Recoge los materiales hasta que caen del horno y los que llegan hasta el final de las parrillas sin haberse quemado (como los metales) y los transporta hasta la separación de escorias y tierras.

El canal de escorias es un conducto con agua donde caen los restos de los materiales quemados en el horno. Lleva agua para apagar los objetos aún incandescentes y porque así los materiales más finos se disuelven en ella y no se dispersan durante el transporte. Para mover los objetos más grandes hay una cinta que los extra del canal y los lleva hasta la separación de escorias y tierras.

5.2.4.2 *Separación de escorias y tierras*

Separa los objetos salidos del horno en metálicos y no metálicos.

Los materiales recogidos por el canal de escorias se dejan caer a un foso. Un trabajador los carga en una cinta vibrante con una grúa. Con el movimiento, la cinta separa los objetos metálicos mayores. A continuación, un electroimán separa el resto de los objetos metálicos.

NOTA: Para profundizar en la descriptiva y análisis de las plantas de SEMESA y TERSA consultar Anexo 4: Autorizaciones ambientales de TERSA y declaraciones ambientales de SEMESA y TERSA (2017).

6 DETERMINACIÓN IMPACTOS

6.1 Introducción

En el momento de realizar un análisis técnico-económico de los sistemas integrantes de nuestro estudio se presenta la necesidad de analizar los diferentes impactos asociados a cada instalación. Los impactos se presentan como la serie de elementos que repercuten en los costes internos o externos de nuestro sistema, tal y como se observa en la Figura 19.

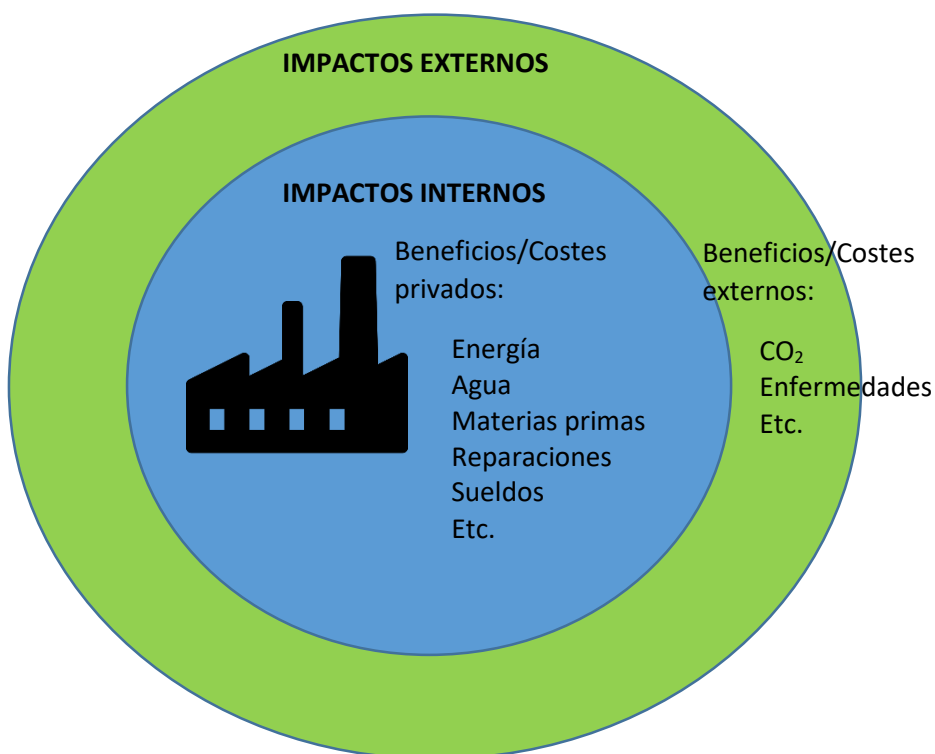


Figura 19: Esquema de los impactos presentes en las instalaciones del estudio. En azul impactos internos, en verde impactos externos. Fuente propia.

La Figura 19 muestra elementos como la energía consumida, las reparaciones o los sueldos, entre otros. Estos elementos serían considerados impactos internos. Debido a que todos los costes y beneficios derivados de estos impactos son asumidos internamente por la empresa (TERSA o SEMESA).

Asimismo, y a efectos de comprender completamente el sistema se deben evaluar los impactos externos, tales como las emisiones de gases de efecto invernadero, la afectación a la salud pública, la eliminación del envío de residuos a vertederos o el impacto de la educación ambiental asociado

a la planta y a su personal laboral. Todo este grupo de impactos externos, son conocidos habitualmente como “*externalidades*”.

Los impactos externos o externalidades se refieren a aquellos que son causados directa o indirectamente por la operación de la planta, pero cuyos efectos generalmente son asumidos por una parte que no sea su propietario u operador (Aleluia & Ferrão, 2017).

Las externalidades son efectos secundarios (positivos o negativos) producidos cuando una persona o empresa realizan una actividad y no asumen todos los costes de la misma, o todos los beneficios que le podría reportar. De esta manera podemos distinguir:

- **Externalidad negativa:** surge cuando no se asumen todos los costes de un efecto negativo. Hablamos de externalidades negativas cuando, por ejemplo, una empresa contamina su entorno o cuando una persona arroja basura a la calle. En estos dos casos, se genera un coste social, ya que es toda la sociedad por igual la que sufre las consecuencias de sus acciones. Y el precio de mercado no recoge este coste.
- **Externalidad positiva:** surge de un efecto positivo que no se reporta como beneficio. Un ejemplo de externalidad positiva que podemos mencionar es la investigación científica, de la cual se beneficia la sociedad en general. Otro ejemplo sería la utilización de energías renovables, del que se beneficia la sociedad porque la persona o empresa que las utiliza no está contaminando. En estos casos, los precios de mercado no recogen los beneficios reales.

Con el objetivo de detallar un marco teórico en el que se identifiquen todos los impactos pertenecientes a TERSA y SEMESA se procede a listar una descripción detallada de todos sus costes e ingresos internos y de sus posibles externalidades (positivas y negativas) asociadas.

6.2 Criba porcentual de impactos

En la realización de un análisis económico-técnico de una instalación industrial se presentan una amplia variedad de factores a tener en cuenta. Desde los más representativos en el porcentaje como sueldos, cánones por producción de residuos o venta neta de electricidad y energía hasta elementos menos representativos como gastos en imagen o la venta de agua regenerada a la red pública.

Por ello se realiza una criba a efectos de incluir en este estudio únicamente los elementos que supongan al menos un 0,1% del total de los costes internos o del total de los beneficios internos.

Dicha criba añadirá un pequeño margen de error que se considera aceptable a la hora de tratar grandes volúmenes de datos en el estudio.

6.3 Elementos internos SEMESA

A continuación, se analizan las cuentas anuales de SEMESA en 2017, a partir de las cuales se determinan los costes e ingresos privados de 2017 (SEMESA 2017). En el presente análisis se ha tenido en cuenta la criba propuesta en apartado 6.2.

6.3.1 Costes privados SEMESA

A efectos de agilizar los cálculos y tener un margen de error aceptable no se consideran las partidas presupuestarias inferiores al 0,1% respecto al total de costes en SEMESA.

6.3.1.1 *Infraestructura industrial*

Se refiere a todos los efectos relacionados con la implementación o explotación de la infraestructura relacionada con la producción de bienes valorizables (plástico, cartón, madera, etc.) y de los subproductos generados. Se parte de considerar todos los costes de inversión que agrupa las obras civiles y equipos industriales presentes en SEMESA.

6.3.1.2 *Aprovisionamiento*

El aprovisionamiento es la acción de encontrar, adquirir o comprar bienes o servicios u obras de una fuente externa, a menudo mediante una subasta o una licitación. El proceso se usa para asegurar que el comprador recibe los bienes, servicios u obras al mejor precio posible, cuando se comparan aspectos como calidad, cantidad, plazo, y ubicación (Monczka et al., 2011).

En el caso concreto de SEMESA el aprovisionamiento se basa en la adquisición de recambios y de material eléctrico y de ferretería para las reparaciones y modificaciones de los equipos del proceso mecánico (en SEMESA no se producen reacciones químicas, es un proceso de selección mecánica). Del mismo modo, se adquieren elementos básicos para el personal de planta tales como materiales de seguridad y materiales informáticos.

Asimismo, el aprovisionamiento necesario en SEMESA no se basa únicamente en elementos físicos, sino que también requiere de elementos externos tales como servicios proporcionados por las filiales del grupo TERSA (SIRESA y TERSA), y otras empresas de servicios.

6.3.1.3 *Gasto del personal SEMESA*

El coste laboral es el coste que incurre el empleador por emplear recursos humanos¹. El coste laboral incluye tanto el salario, como el pago a la seguridad social y seguros privados, en beneficio de los empleados y ocasionalmente el coste de eventuales indemnizaciones o compensación, el coste de la formación de personal, transporte y dietas del personal.

El conjunto de todos estos elementos se muestra detalladamente en el informe de auditoría y cuentas de SEMESA de 2017.

6.3.1.4 *Otros costes de explotación*

- Canon residuos municipales y agua
- Canon rechazo TERSA
- Arrendamiento máquinas y vehículos
- Reparaciones y mantenimiento preventivo-correctivo
- Asesores y consultores
- Transportes de subproductos y residuos
- Tratamiento y eliminación de los residuos
- Consumo de luz y agua
- Comunicaciones
- Suscripciones
- Desplazamientos
- Informática
- Servicio de vigilancia
- Servicios diversos

6.3.2 *Ingresos privados SEMESA*

6.3.2.1 *Venta de elementos valorizables*

En las instalaciones de SEMESA a través de sus procesos de selección de materiales se separan diversos elementos presentes en el contenedor amarillo de envases ligeros, de residuos voluminosos y de restos de poda. A continuación, se listan los elementos valorizables, que una vez separados son vendidos en SEMESA a empresas recuperadoras.

¹ BIT <http://www.ilo.org/public/spanish/bureau/stat/download/res/labcos.pdf> *Resolución sobre las estadísticas del costo de la mano de obra, adoptada por la undécima Conferencia Internacional de Estadígrafos del Trabajo (octubre de 1966)*, Organización Internacional del Trabajo, Ginebra, 1966, 8 pp.

- Chatarra
- Papel cartón
- Baterías
- Astillas
- Madera
- Vidrio
- Plástico

6.3.2.2 *Prestaciones de selección de envases ligeros*

En las instalaciones de SEMESA se prestan servicios de selección de envases ligeros a terceros.

6.3.2.3 *Planta de voluminosos de madera y poda*

En las instalaciones de SEMESA se prestan servicios de tratamiento de residuos voluminosos de madera y poda.

6.4 Elementos externos SEMESA

La valoración de los elementos externos de SEMESA se realiza a través de un análisis cualitativo inicial basado en los elementos económicos no incluidos en las cuentas anuales de SEMESA de 2017.

6.4.1 Costes externos SEMESA

6.4.1.1 *Impacto sobre el parque agrario del Llobregat*

La ubicación de SEMESA en las proximidades del parque agrario del Baix Llobregat, que forma parte de la Red de Espacios Naturales protegidos, promovidos y gestionados por la Diputación de Barcelona puede generar diversos efectos negativos sobre el entorno. Pese a estar construido sobre terreno industrial, su presencia en la zona y promoción de la actividad económica industrial en la misma podrían generar sinergias e intereses para una mayor inversión industrial en la zona que llegasen a chocar con los intereses de desarrollo y promoción del parque agrario del Baix Llobregat.

6.4.1.2 Responsabilidad Medioambiental

Para el establecimiento de TERSA se observa la contratación de un seguro de responsabilidad medioambiental en sus autorizaciones ambientales (ver anexo 14) y en sus cuentas anuales (ver anexo 11). Dicho seguro anual tiene el objeto de mitigar y recuperar posibles daños medioambientales derivados de un accidente industrial tal y como prevé la Ley 26/2007, de 23 de octubre, de Responsabilidad Medioambiental.

En el caso contrario tenemos a SEMESA, donde no se ha llevado a cabo la contratación de un seguro de responsabilidad medioambiental (ver anexo 11). Debido a este hecho, cualquier daño medioambiental derivado de un accidente queda externalizado y no se contempla en el presupuesto de SEMESA.

Realizando un análisis histórico de accidentes industriales con graves impactos en el medio ambiente surge un escenario clave a analizar: el agua contra incendios. Concretamente tenemos varios casos muy representativos que a continuación se describen:

- El 1 de noviembre de 1986, a causa de un incendio en un edificio de la empresa química suiza Sandoz (ahora Novartis), toneladas de pesticidas fueron derramadas en el río Rin (Zarza, 2019). Un almacén con 1350 toneladas de químicos ardió, provocando un derrame de 30 toneladas de insecticidas, plaguicidas, colorantes y mercurio. Estas sustancias se filtraron con 15.000 m³ de agua que se utilizaron para extinguir el fuego y que fueron a parar finalmente al río Rin. La compañía pagó 49 millones de dólares de 1986 en concepto de reparación de daños al medio ambiente.
- La empresa Brentag ubicada cerca del río Umia a raíz de un incendio, provocó un vertido de aguas de incendios que contaminó todo el tramo aguas abajo del río Umia (Puga, 2012). La compañía pagó 5,5 millones de euros de 2006 en concepto de reparación de daños al medio ambiente (inicialmente la Xunta pidió 9,6 millones de euros).
- La empresa Ditecsa especializada en el tratamiento de residuos líquidos sufre un incendio a partir del cual vierte las aguas contra incendios al río Besós provocando incalculables daños medioambientales (Benavides, 2019). El caso no se ha resuelto por el momento, pero se prevé una alta suma de dinero en conceptos de reparaciones medioambientales.

Asimismo, en los establecimientos de reciclaje y puntos verdes se han detectado desde 2012 más de 285 incendios, recogidos en (Galindo, 2013). Dicha frecuencia de incendios es bastante elevada hablando comparativamente con otros establecimientos.

Finalmente, la “Orden APM/1040/2017, de 23 de octubre, por la que se establece la fecha a partir de la cual será exigible la constitución de la garantía financiera obligatoria para las actividades del anexo III de la Ley 26/2007, de 23 de octubre, de Responsabilidad Medioambiental, clasificadas como nivel de prioridad 1 y 2, mediante Orden ARM/1783/2011, de 22 de junio, y por la que se modifica su anexo.” establece en el punto 5.4 de su anexo como categoría 3 a las actividades “Instalaciones para la eliminación de los residuos no peligrosos con una capacidad de más de 50 toneladas por día, que incluyan una o más de las siguientes actividades, excluyendo las incluidas en el Real Decreto-ley 11/1995, de 28 de diciembre, por el que se establecen las normas aplicables al tratamiento de las aguas residuales urbanas: Tratamiento previo a la incineración o co-incineración”.

Consecuentemente, para octubre de 2020 SEMESA deberá tener efectuada una declaración responsable de accidentes medioambientales que le permita reparar cualquier daño medioambiental producido en sus instalaciones.

Debido a la cercanía del canal de la Murtra (ver Figura 20) y al análisis histórico previamente descrito se considera posible un escenario de incendio con vertido total de las aguas contra incendios al canal, provocando serios daños ambientales y económicos al entorno. Esta tipología de escenario sería probablemente la más grave y conservadora y el seguro de responsabilidad medioambiental debería ir diseñado a paliar los efectos de este caso concreto por encima de los accidentes ambientales inferiores (tal y como se describe en la ley 26/2007). Ante un escenario de vertido total de aguas contra incendios se asume para las dimensiones de la planta de 82052 m² (ver Anexo 4: Autorizaciones ambientales de TERSA y declaraciones ambientales de SEMESA y TERSA (2017)), unos 200 m³ con criterio conservador (incluyendo aguas contra incendios, espumas, restos de material incendiado) para los cálculos del accidente medioambiental.



Figura 20: Ubicación de SEMESA y del canal de la Murtra.

6.4.1.3 Emisiones de CO_{2eq}

Las emisiones de CO_{2eq} son un elemento a tener en cuenta a la hora de analizar los impactos externos provenientes de SEMESA a efectos de luchar contra los efectos del cambio climático. Si bien hasta la fecha este elemento solamente ha estado penado a través de la reprobación o el estigma social, con la ley 16/2017 de cambio climático de Catalunya el escenario de emisiones de CO_{2eq} cambia.

El objeto de la ley 16/2017 es la regulación de las medidas encaminadas a la mitigación y la adaptación al cambio climático, la definición del modelo de gobernanza de la administración pública con relación al cambio climático y el establecimiento de impuestos como instrumento para actuar contra el cambio climático.

La actividad de SEMESA no está incluida en el conjunto de actividades industriales gravadas por la nueva ley 16/2017. No obstante, a efectos de valorar el impacto se propone utilizar la ley para calcular la externalidad en la emisión de 1597 tn de CO_{2eq} en las instalaciones de SEMESA durante el período 2017 (ver Anexo 4: Autorizaciones ambientales de TERSA y declaraciones ambientales de SEMESA y TERSA (2017)).

6.4.2 Ingresos externos SEMESA

6.4.2.1 Educación ambiental

SEMESA, a través del Grupo TERSA ofrece visitas guiadas a sus instalaciones a través de los siguientes programas (TERSA 2019b):

1. Programa Metropolitano de Educación para la Sostenibilidad "*Compartim un futur*"

Los objetivos del programa son considerar, responsabilizar y aumentar los conocimientos relacionados con la correcta administración y utilización de los recursos del territorio, para mejorar nuestro medio ambiente.

- Escuelas
- Estudiantes universitarios
- Gente mayor y ciudadanía en general

2. Programa "*Com funciona Barcelona?*"

Programa educativo para promover el conocimiento de las instalaciones, equipamientos y espacios verdes de la ciudad.

- Educación infantil (EI)
- Educación primaria (EP)
- Educación secundaria obligatoria (ESO)
- Educación secundaria post-obligatoria (ESPO)

6.4.2.2 *Desarrollo económico de la zona*

SEMESA se encuentra ubicada en el Parc Empresarial Gavà. Concretamente en el polígono industrial El Camí del Regàs. La ubicación de una infraestructura industrial pública como SEMESA favorece el dinamismo industrial en el polígono. SEMESA se presenta como una infraestructura industrial capaz de suministrar elementos como plástico, madera, cartón, chatarra (hierro y aluminio), entre diversos servicios como la consultoría o formación en medio ambiente a las empresas colindantes. Es por ello, que la presencia de SEMESA sin duda puede ser un elemento clave en el desarrollo económico e industrial de la zona.

6.4.2.3 *Garantía para el tratamiento de residuos*

SEMESA, como infraestructura dedicada a la gestión y tratamiento de residuos se muestra como una herramienta capaz de gestionar una gran cantidad de los residuos producidos por los ciudadanos del Área Metropolitana de Barcelona.

Debido a su capacidad, cada año se venden a empresas recicladoras 15.869 tn de plástico, hierro, aluminio, cartón, etc. Asimismo, también se venden a empresas de reciclaje 54.416 tn de residuos voluminosos separados en la planta. Finalmente, quedan 15.141 tn de residuos que no pueden ser separados y se envían a incineración.

Consecuentemente, un valor añadido de SEMESA es el de dotar de capacidad de tratamiento de residuos al área metropolitana de Barcelona, ya que sin su presencia estos residuos acabarían en el vertedero, incumpliendo la jerarquía de valorización de residuos propuesta por la Directiva 2008/98/CE de residuos.

6.5 *Coste oportunidad en SEMESA*

El coste de oportunidad hace referencia a la existencia de diferentes alternativas para la inversión del dinero en otro escenario, viene dado por el uso que proporciona el mayor rendimiento económico, siempre y cuando estos rendimientos sean más altos que los de un instrumento financiero (Seguí-Amórtégui et al., 2014).

Para calcular los costes de oportunidad se parte del escenario netamente económico donde se dispone a realizar la inversión total de los costes en los cuales se incurren al momento de implementar la propuesta planteada.

En el caso concreto de SEMESA se analiza el coste oportunidad derivado del precio del suelo, donde se opta por desarrollar una inversión en suelo industrial en vez de desarrollar una inversión en suelo urbano.

6.6 Tabla de evaluación de impactos en SEMESA

Tabla 3: Análisis de los impactos considerados en SEMESA. Elaboración propia a partir de Seguí-Amórtégui et al. (2014).

Tipología de impactos	Grupo de Impacto	Impacto Implicados	Identificación		Periodicidad		Cuantificación	
			Negativo (Costes)	Positivo (Ingresos)	Negativo (Costes)	Positivo (Ingresos)	Negativo (Costes)	Positivo (Ingresos)
Impactos internos	Infraestructura industrial	Infraestructura	Toda la infraestructura necesaria para tratar las toneladas al año de residuo		Al inicio y durante toda la vida útil del proyecto		tn de residuo valorizado	
	Aprovisionamientos	Adquisición de bienes y servicios	Todos los bienes y servicios necesarios para la explotación de la planta		Durante toda la vida útil del proyecto		tn de materias primas y horas de servicios externos	
	Gasto del personal		Todas las horas de trabajo necesarias para la explotación de la planta		Durante toda la vida útil del proyecto		horas de personal propio	
	Otros costes de explotación		Todos los demás elementos necesarios para la explotación de la planta		Durante toda la vida útil del proyecto		Otros costes de explotación	

	Ingresos privados (servicios y venta de materiales)	Venta de subproductos		Venta de plásticos, vidrio, madera, etc.		Durante toda la vida útil del proyecto		tn de residuo valorizado
Impactos externos	Impacto sobre el parque agrario	Generación de industria cerca de terrenos de parque agrario	Proliferación de terreno industrial cerca del parque agrario		Durante la vida útil de proyecto		No cuantificado	
	Cambio climático	Emisión de CO _{2eq} a la atmósfera	Emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera		Durante la vida útil del proyecto		Emisión 1597 tn CO _{2eq} (2017)	
	Responsabilidad medioambiental	Desastres ambientales	Vertidos accidentales, incendios, etc.		Durante la vida útil de proyecto		200 m ³ de agua contra incendios vertidos	
	Educación ambiental	Cultura de la economía circular		Sensibilización a la cultura de la economía circular		Durante la vida útil de proyecto		No cuantificado
	Desarrollo económico de la zona	Promoción de la industria local en los polígonos de Gavá y Viladecans		Desarrollo industrial en el polígono en el que está ubicada SEMESA. Generación de sinergias con las demás industrias locales.		Durante la vida útil del proyecto		No cuantificado
	Independencia para el tratamiento de residuos	Capacidad de tratamiento de residuos (no vertedero)		Toneladas que no son enviadas a vertedero		Durante la vida útil del proyecto		87.320 tn residuos (reciclados, no vertedero)

6.7 Elementos internos TERSA

A continuación, se analizan las cuentas anuales de TERSA en 2017, a partir de las cuales se determinan los costes e ingresos privados de 2017 (TERSA 2017a). En el presente análisis se ha tenido en cuenta la criba propuesta en 6.2 y se han descartado los conceptos relacionados con la pérgola solar del Fòrum que aparecen en el informe.

6.7.1 Costes privados TERSA

A efectos de agilizar los cálculos y tener un margen de error aceptable no se consideran las partidas presupuestarias inferiores al 0,1% respecto al total de costes en TERSA.

6.7.1.1 *Infraestructura industrial*

Se refiere a todos los efectos relacionados ya bien sea con la implementación o explotación de la infraestructura relacionada con la producción de energía y de los subproductos generados. Se parte de considerar todos los costes de inversión que agrupa las obras civiles y equipos industriales presentes en TERSA.

6.7.1.2 *Aprovisionamiento*

El aprovisionamiento es la acción de encontrar, adquirir o comprar bienes o servicios u obras de una fuente externa, a menudo mediante una subasta o una licitación. El proceso se usa para asegurar que el comprador recibe los bienes, servicios u obras al mejor precio posible, cuando se comparan aspectos como calidad, cantidad, plazo, y ubicación (Monczka et al. 2011).

En el caso concreto de TERSA el aprovisionamiento se basa en la adquisición de materias primas externas básicas para su proceso productivo tales como el carbón, la cal, la urea y diversos productos químicos. Del mismo modo, se adquieren elementos básicos para el personal de planta tales como materiales de seguridad y materiales informáticos.

Asimismo, el aprovisionamiento necesario en TERSA no se basa únicamente en elementos físicos, sino que también requiere de elementos externos tales como servicios proporcionados por las filiales del grupo TERSA (SIRESA y SEMESA), Ecoparc del Mediterrani y otras empresas de servicios.

6.7.1.3 Gasto del personal TERSA

El coste laboral es el coste que incurre el empleador por emplear recursos humanos². El coste laboral incluye tanto el salario, como el pago a la seguridad social y seguros privados, en beneficio de los empleados y ocasionalmente el coste de eventuales indemnizaciones o compensación, el coste de la formación de personal, transporte y dietas del personal.

6.7.1.4 Otros costes de explotación

La categoría de otros costes de explotación engloba el resto de los elementos necesarios para poder realizar la actividad en TERSA. Entre los diversos costes de explotación, se analizan los siguientes:

- Canon residuos municipales
- Alquiler maquinaria
- Reparaciones y preventivo
- Asesores y consultores
- Transporte tratamiento y eliminación de residuos
- Seguros
- Patronazgo
- Consumo de luz agua y gas
- Informática
- Análisis y controles
- Canon energía
- Control accesos
- Servicios varios

6.7.2 Ingresos privados TERSA

6.7.2.1 Venta de energía eléctrica

Uno de los elementos producidos en el proceso productivo de TERSA es la energía. Concretamente la energía eléctrica es la que se genera en mayor cantidad neta (MWhe), convirtiendo a TERSA en

² BIT <http://www.ilo.org/public/spanish/bureau/stat/download/res/labcos.pdf> *Resolución sobre las estadísticas del costo de la mano de obra, adoptada por la undécima Conferencia Internacional de Estadígrafos del Trabajo (octubre de 1966)*, Organización Internacional del Trabajo, Ginebra, 1966, 8 pp.

un productor de electricidad. Dicha electricidad es vendida a las distribuidoras de electricidad que poseen la red de distribución.

6.7.2.2 *Venta de agua*

TERSA en compromiso con la sostenibilidad instaló una planta de osmosis para autoabastecerse de agua. Consecuentemente a raíz de la implantación TERSA se convierte en un productor de agua, obteniendo los consecuentes beneficios de su venta.

6.7.2.3 *Venta de vapor*

En la producción de electricidad a través del vapor en turbinas se genera una fracción no aprovechable, dicha fracción se vende a la empresa Districlima, encargada de dar calor y frío a los principales edificios de distrito 22@.

6.7.2.4 *Venta de escorias y residuos*

En la incineración de los residuos sólidos municipales se producen áridos aprovechables por las cementeras, debido a las propiedades de estos. De esta forma un residuo que acabaría en vertederos consigue generar un valor económico.

6.8 Elementos externos TERSA

La valoración de los elementos externos de TERSA se realiza a través de un análisis cualitativo inicial basado en los elementos económicos no incluidos en las cuentas anuales de TERSA de 2017.

6.8.1 Costes externos TERSA

6.8.1.1 *Emisiones de CO_{2eq}*

El Grupo Intergubernamental de Expertos en cambio Climático (IPCC, por las siglas en inglés) ha publicado cinco informes que evidencian los cambios en el clima y su correlación directa con la actividad humana. El último informe concluye que el cambio climático y su manifestación más visible, el calentamiento global, ya incuestionable, es fundamentalmente antrópico, con un nivel de probabilidad superior al 95%, y está causado, esencialmente, por las emisiones de gases invernadero (GEI) provocadas por el uso de combustibles fósiles y el cambio en los usos del suelo.

Las emisiones de CO_{2eq} son un elemento para tener en cuenta a la hora de analizar los impactos externos provenientes de TERSA a efectos de luchar contra los efectos del cambio climático. Si bien

hasta la fecha este elemento solamente ha estado penado a través de la reprobación o el estigma social, con la ley 16/2017 de cambio climático de Catalunya el escenario de emisiones de CO_{2eq} cambia.

El objeto de la ley 16/2017 es la regulación de las medidas encaminadas a la mitigación y la adaptación al cambio climático, la definición del modelo de gobernanza de la administración pública con relación al cambio climático y el establecimiento de impuestos como instrumento para actuar contra el cambio climático.

6.8.1.2 *Emisiones cancerígenas*

En el proceso de incineración de los residuos sólidos urbanos en la planta de incineración de TERSA se producen humos producto de la combustión. Dichos humos son mezclas de óxidos, metales pesados, partículas de carbono, dioxinas entre muchos otros elementos que generan un grave peligro para la salud humana. Si bien es cierto que tal y como indican las autorizaciones ambientales de TERSA (ver Anexo 4: Autorizaciones ambientales de TERSA y declaraciones ambientales de SEMESA y TERSA (2017)), se han ido instalando y renovando una serie de catalizadores y filtros de partículas a efectos de evitar la emisión de cantidades sustanciales de humos tóxicos, existe la posibilidad de que en los sistemas de medición o ante fallos imprevistos se produzcan fugas peligrosas de humos.

Concretamente un estudio publicado por el Dr. José L. Domingo de la URL (Domingo et al., 2017) asocia directamente las emisiones de humos a una probabilidad de afección de cáncer 4 veces superior en la zona circundante de St. Adrià del Besós que en otros lugares más alejados de TERSA. Asimismo, cabe destacar que existen otros estudios como Agència de Salut Pública de Barcelona (2018)a, donde se descartan las conclusiones obtenidas por el Dr. José L. Domingo de la URL.

Consecuentemente, pese a las medidas mitigadoras y los informes que desmienten el índice de cáncer del estudio del Dr. José L. Domingo no es descabellado pensar que existe un riesgo asociado de desarrollo de cáncer por parte de los vecinos de Sant Adrià del Besós por culpa de TERSA. Es por ello que en el presente estudio se propone valorar la externalidad asociada a una tasa de cáncer más elevada de la estándar de la ciudad.

6.8.1.3 Calidad del aire

La calidad del aire se muestra como uno de los principales factores de riesgo y de empeoramiento de la salud que los contextos urbanos pueden desarrollar. Existe abundante bibliografía, especialmente desarrollada a raíz de los informes y declaraciones presentados por la OMS (OMS, 2017). Asimismo, en el contexto de Barcelona existen estudios que prueban la mortalidad y morbilidad de la población asociadas a los elevados niveles de contaminación atmosférica donde se determinan entre 230-463 muertes anuales en Barcelona directamente asociadas a la contaminación atmosférica (Agència de Salut Pública de Barcelona 2018b).

TERSA cuenta con diferentes sistemas de filtros y de catálisis de humos y gases a efectos de evitar el empeoramiento local de la calidad del aire. Inicialmente en 2004, TERSA instaló sistemas de reducción de emisiones de NOx y de HCL y posteriormente en 2018 mejoró el sistema de reducción de emisiones de NOx con un filtro catalítico (ver Anexo 4: Autorizaciones ambientales de TERSA y declaraciones ambientales de SEMESA y TERSA (2017)).

No obstante, y a pesar de cumplir con las normativas de emisión establecidas por la ley, TERSA es un foco de emisiones contaminantes que empeoran la calidad del aire a nivel local. Entre las emisiones que afectan a la calidad del aire, los NOx se muestran como uno de los principales elementos a tener en cuenta (ver Figura 21).



Figura 21: Emisiones anuales de NOx de la industria (2014). NOTA: la leyenda de emisiones de NOx es cualitativa, no muestra unidades en la fuente de origen (Hipermapa del Departament de Territori i Sostenibilitat).

Entre las consecuencias provocadas por la contaminación atmosférica por NOx, recientes estudios destacan el preocupante impacto negativo desarrollado sobre estudiantes, dando lugar a un empeoramiento cognitivo y desarrollando tasas de obesidad mayores en comparación con escuelas donde los niveles de calidad del aire son mejores (Rivas et al. 2018, De Bont et al. 2019). Concretamente, en la zona cercana a TERSA, las escuelas muestran niveles preocupantes de contaminación por NOx, mostrando en su mayoría niveles altos ($>40 \mu\text{g}/\text{m}^3$) o muy altos ($>50 \mu\text{g}/\text{m}^3$) (ver Figura 22).

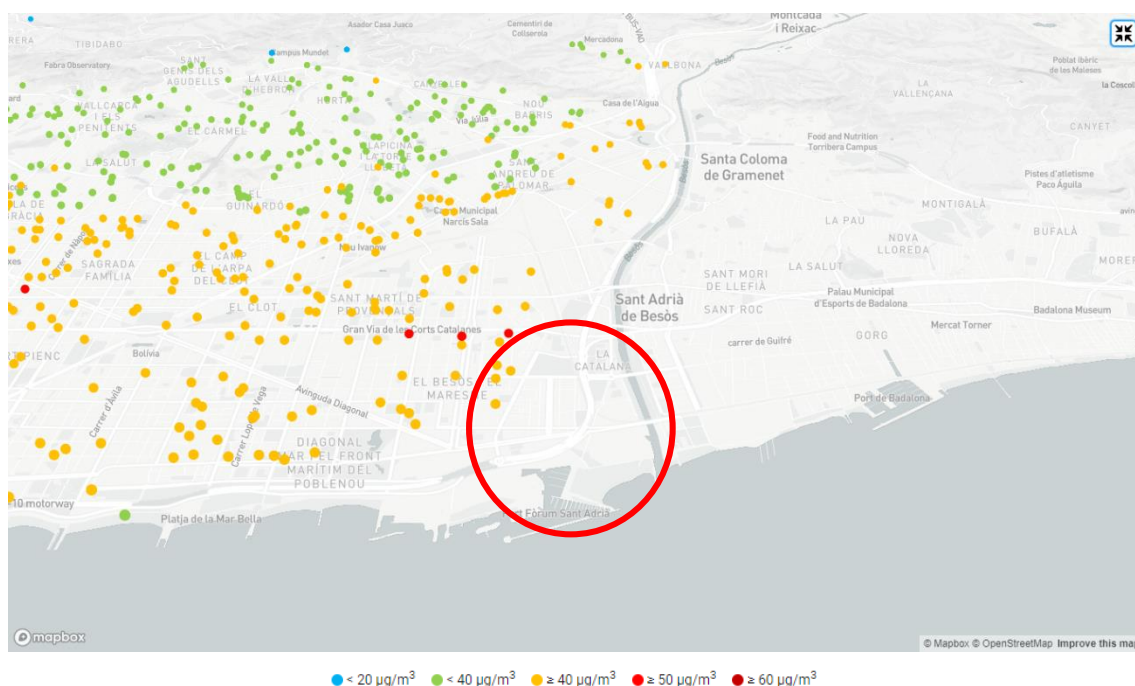


Figura 22: Mapa de la contaminación de las escuelas en Barcelona. En círculo rojo ubicación aproximada de TERSA. Fuente: visor web <https://www.contaminacio.cat/>

Completando el análisis local para la calidad del aire cercana a TERSA, se muestra que la contaminación por partículas PM10 no muestra niveles elevados en sus alrededores (ver Figura 23)

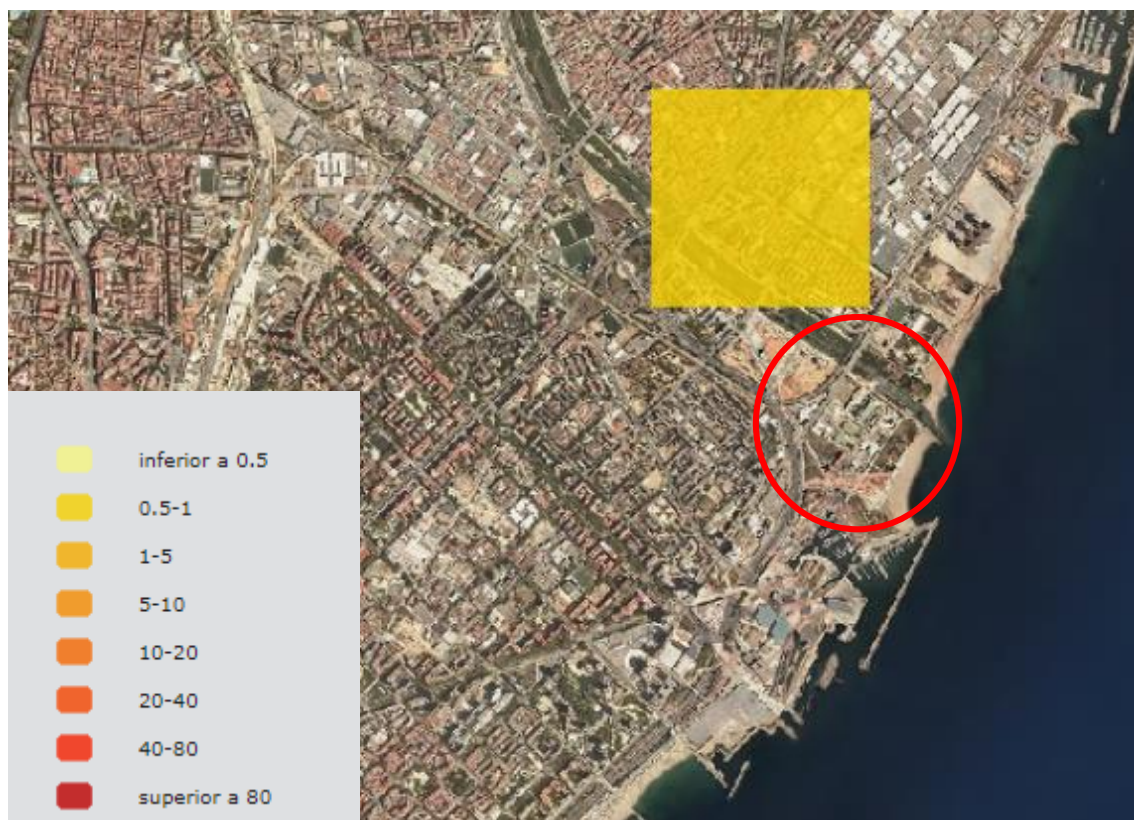


Figura 23: Emisiones anuales de PM10 de la industria (2014). En círculo rojo ubicación aproximada de TERSA. NOTA: la leyenda de emisiones de PM10 es cualitativa, no muestra unidades en la fuente de origen (Hipermapa del Departament de Territori i Sostenibilitat).

Finalizado el análisis del caso, se concluye que existe la posibilidad que TERSA este afectando negativamente a la calidad del aire circundante en la zona. La emisión y afectación negativas a la calidad del aire local estarían sancionadas económicamente por a través de la “*DIRECTIVA 2008/50/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 21 de mayo de 2008 relativa a la calidad del aire ambiente y a una atmósfera más limpia en Europa*” Parlamento Europeo y del Consejo (2008).

6.8.1.4 Freno al desarrollo económico de la zona

La ubicación de TERSA enmarcada dentro del contexto industrial de Sant Adrià del Besós se muestra como una de las principales infraestructuras que la definen.

Dentro de este contexto industrial, formado por Ecoparc3, la depuradora del Besós, Districlima y las centrales de ciclo combinado se generan servicios a la ciudad de Barcelona.

No obstante, a pesar de la generación de servicios y riquezas en la zona por parte de la infraestructura industrial, se produce probablemente un freno en el desarrollo económico de la zona debido a las mismas.

Debido a la ubicación privilegiada de TERSA y su entorno, junto a la serie de nuevos proyectos e inversión que existen (ver apartado 4) se puede interpretar que TERSA será un freno para la inversión en la zona. Concretamente, a TERSA se la tilda de “*culpable*” de los siguientes elementos:

- Altas tasas de cáncer en la zona por humos tóxicos (Plataformas Aire Net y estudio de José L. Domingo de la URL).
- Olores molestos a nivel local (Plataforma Aire Net).
- Impacto visual negativo de las instalaciones de TERSA en la zona.

Asimismo, analizando la infraestructura industrial de la zona en general, cabe destacar que una de las industrias circundantes (Gas Natural Fenosa Generación SLU) forman parte de Plaseqcat (Pla d’Emergència Exterior Del Sector Químic De Catalunya). Este hecho es terminal y probablemente dificulte en gran medida el cambio de suelo (de suelo industrial a suelo urbano).

Consecuentemente, la inversión inmobiliaria, en servicios, turística o de otros elementos ajenos a la producción industrial, se ve imposibilitada por el contexto, frenando el desarrollo económico de la zona.

6.8.2 Ingresos externos TERSA

6.8.2.1 Ahorro de emisiones de CO₂ en Districlima

TERSA es el principal suministrador de vapor al sistema de calor de distrito Districlima (TERSA, 2017b). Asimismo, TERSA es propietaria del 20% de las acciones de Districlima.

Al suministrar vapor no aprovechable de las turbinas de TERSA se genera una buena sinergia con Districlima, ahorrando la emisión de miles de toneladas de CO₂ a la atmósfera (Serrano, 2019).

6.8.2.2 Educación ambiental

Grupo TERSA ofrece visitas guiadas a sus instalaciones a través de los siguientes programas (TERSA 2019b):

1. Programa Metropolitano de Educación para la Sostenibilidad “*Compartim un futur*”

Los objetivos del programa son considerar, responsabilizar y aumentar los conocimientos relacionados con la correcta administración y utilización de los recursos del territorio, para mejorar nuestro medio ambiente.

- Escuelas
- Estudiantes universitarios

- Gente mayor y ciudadanía en general

2. Programa "*Com funciona Barcelona?*"

Programa educativo para promover el conocimiento de las instalaciones, equipamientos y espacios verdes de la ciudad.

- Educación infantil (EI)
- Educación primaria (EP)
- Educación secundaria obligatoria (ESO)
- Educación secundaria post-obligatoria (ESPO)

3. Visitas especiales a la PIVR

Visitas técnicas dirigidas principalmente a:

- Personal técnico de empresas públicas y privadas
- Estudiantes de postgrado y másters
- Delegaciones de ámbito nacional e internacional

Debido a los diversos programas desarrollados por el grupo TERSA, existe un beneficio externo asociado a la educación ambiental.

6.8.2.3 *Garantía en el suministro energético (autoabastecimiento)*

La actividad económica de TERSA es la gestión y el tratamiento de residuos urbanos no peligrosos. Sin embargo, debido a la valorización energética de los mismos, TERSA se convierte en una infraestructura capaz de generar energía en forma de electricidad y calor.

Desde una perspectiva de soberanía energética TERSA permite a la ciudad no estar tan vinculada a las fuentes de energía más clásicas como los hidrocarburos o la nuclear y a las variaciones de los precios de los combustibles asociados a ellas. Asimismo, TERSA funciona con una fuente actualmente "inagotable" de combustible como son los residuos urbanos no peligrosos, hecho que genera un proceso de producción energético estable.

6.8.2.4 *Garantía para el tratamiento de residuos*

TERSA, como infraestructura dedicada a la gestión y tratamiento de residuos se muestra como una herramienta capaz de gestionar una gran cantidad de los residuos producidos por los ciudadanos del Área Metropolitana de Barcelona.

Debido a su capacidad cada año se incineran unas 368.800 tn de residuo urbano, de las cuales finalmente solo 12.800 tn se envían a vertederos controlados.

Consecuentemente, un valor añadido de TERSA es el de dotar de capacidad de tratamiento de residuos al área metropolitana de Barcelona, ya que sin su presencia estos residuos acabarían en el vertedero, incumpliendo la jerarquía de valorización de residuos propuesta por la Directiva 2008/98/CE de residuos.

6.9 Coste oportunidad en TERSA

El coste de oportunidad hace referencia a la existencia de diferentes alternativas para la inversión del dinero en otro escenario, viene dado por el uso que proporciona el mayor rendimiento económico, siempre y cuando estos rendimientos sean más altos que los de un instrumento financiero (Seguí-Amórtégui et al., 2014).

Para calcular los costes de oportunidad se parte del escenario netamente económico donde se dispone a realizar la inversión total de los costes de en los cuales se incurren al momento de implementar la propuesta planteada.

En el caso concreto de TERSA se analiza el coste oportunidad derivado del precio del suelo, donde se opta por desarrollar una inversión en suelo industrial en vez de desarrollar una inversión en suelo urbano. TERSA dispone de una superficie total de parcela de 10.044 m² (Anexo 4: Autorizaciones ambientales de TERSA y declaraciones ambientales de SEMESA y TERSA (2017)).

6.10 Tabla de evaluación de impactos en TERSA

Tabla 4: Análisis de los impactos considerados en TERSA. Elaboración propia a partir de Seguí-Amórtégui et al. (2014).

Tipología de impactos	Grupo de Impacto	Impacto Implicados	Identificación		Periodicidad		Cuantificación	
			Negativo (Costes)	Positivo (Ingresos)	Negativo (Costes)	Positivo (Ingresos)	Negativo (Costes)	Positivo (Ingresos)
Impactos internos	Infraestructura industrial	Infraestructura	Toda la infraestructura necesaria para tratar las toneladas al año de residuo		Al inicio y durante toda la vida útil del proyecto		tn de residuo valorizado	
	Aprovisionamientos	Adquisición de bienes y servicios	Todos los bienes y servicios necesarios para la explotación de la planta		Durante toda la vida útil del proyecto		tn de materias primas y horas de servicios externos	
	Gasto del personal		Todas las horas de trabajo necesarias para la explotación de la planta		Durante toda la vida útil del proyecto		horas de personal propio	
	Otros costes de explotación		Todos los demás elementos necesarios para la explotación de la planta		Durante toda la vida útil del proyecto		Otros costes de explotación	
	Ingresos privados (servicios y venta energética)	Venta de energía y servicios asociados		Venta de MWh y servicios asociados		Durante toda la vida útil del proyecto		MWh vendidos y servicios asociados
Impactos externos	Cambio climático	Emisión de CO _{2eq} a la atmósfera	Emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera		Durante la vida útil del proyecto		Incineración de 368.791 tn de residuos (2017)	

Tipología de impactos	Grupo de Impacto	Impacto Implicados	Identificación		Periodicidad		Cuantificación	
			Negativo (Costes)	Positivo (Ingresos)	Negativo (Costes)	Positivo (Ingresos)	Negativo (Costes)	Positivo (Ingresos)
		Ahorro de emisiones de CO _{2eq} a la atmósfera suministrando vapor a Districlima		Emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera		Durante la vida útil del proyecto	22.965 tn CO ₂ evitadas (Serrano, 2019)	
	Calidad del aire	Emisión de partículas tipo PM10, NOx entre otras	Emisiones de gases que empeoran la calidad del aire urbana		Durante la vida útil del proyecto		No cuantificado	
	Emisión de gases cancerígenos	Emisión de gases y partículas cancerígenas	Emisión de gases y partículas cancerígenas		Durante la vida útil del proyecto		4 veces más probabilidad de padecer cáncer que en una ubicación estándar	
	Freno al desarrollo económico local	Impedimento al desarrollo de servicios, negocios y turismo	Impedimento al desarrollo de negocios del sector servicios, turismo, inmobiliario debido al sector industrial de la zona		Durante toda la vida útil del proyecto		No cuantificado	
	Educación ambiental	Cultura de la economía circular		Sensibilización a la cultura de la economía circular		Durante la vida útil de proyecto		No cuantificado
	Independencia de suministro eléctrico	Capacidad de autoabastecimiento eléctrico		Capacidad de autoabastecimiento eléctrico		Durante la vida útil de proyecto		No cuantificados
	Independencia para el tratamiento de residuos	Capacidad de tratamiento de residuos (no vertedero)		Toneladas que no son enviadas a vertedero		Durante la vida útil del proyecto		368.791 tn de residuos (incineración, no vertedero)

Tipología de impactos	Grupo de Impacto	Impacto Implicados	Identificación		Periodicidad		Cuantificación	
			Negativo (Costes)	Positivo (Ingresos)	Negativo (Costes)	Positivo (Ingresos)	Negativo (Costes)	Positivo (Ingresos)
Coste oportunidad	Precios del suelo	Precios de suelo	Pérdida de oportunidad de negocio de suelo industrial vs suelo urbano		Al inicio y durante la vida útil de proyecto		10.044 m ² en TERSA	

7 VALORACIÓN ECONÓMICA DE LOS IMPACTOS

En este capítulo se valoran económicamente los impactos internos y externos (externalidades) tratados en el capítulo 6. El proceso de valoración se ha realizado mediante herramientas y valores reconocidos.

7.1 SEMESA

A continuación, se valoran económicamente los impactos internos e impactos externos (externalidades) de SEMESA.

7.1.1 Balance final de los elementos internos de SEMESA

A continuación, se adjunta la Tabla 5 y Tabla 6 donde se recogen los elementos que presentan más de un 0,1% en los costes privados y en los ingresos privados, respectivamente.

Tabla 5: Elementos de gasto analizados, euros gastados, y porcentaje respecto al total del gasto de 2017 en SEMESA.

Fuente: SABI.

Total de costes privados analizados en SEMESA [€]	5027072
--	---------

Expresando los costes privados totales en función de la cantidad de toneladas de residuos tratadas se obtiene el siguiente indicador:

$$\frac{5027072 \text{ € costes privados 2017}}{87320 \text{ tn residuo}} = \frac{57,57 \text{ € costes privados 2017}}{\text{tn residuo}}$$

Tabla 6: Elementos de ingresos analizados, euros ingresados, y porcentaje respecto al total del ingreso de 2017 en SEMESA.

Conceptos analizados	Ingresos de actividad 2017 [€]	% respecto total de ingreso 2017
Prestaciones de selección de envases ligeros	4434505,78	50,83
Planta de voluminosos de madera y poda	3451627,9	39,56
Astillas	547788,12	6,28
Chatarra	273548,32	3,14
Plástico	13008	0,15
Total de ingresos privados analizados en SEMESA	8720478,12	100

Expresando los ingresos privados totales en función de la cantidad de toneladas de residuos tratadas se obtiene el siguiente indicador:

$$\frac{8720478,12 \text{ € ingresos privados 2017}}{87320 \text{ tn residuo}} = \frac{99,86 \text{ € ingresos privados 2017}}{\text{tn residuo}}$$

Para profundizar en el análisis de los costes e ingresos internos de SEMESA consultar (Dijk, 2008) y Anexo 1: Cuentas anuales de SEMESA y TERSA 2017.

7.1.2 Valoración económica de las externalidades de SEMESA

7.1.2.1 Responsabilidad Medioambiental

En la realización del cálculo de los costes económicos de responsabilidad ambiental se utilizan las herramientas IDM (Índice de Daño Medioambiental) y MORA (Modelo de Oferta de Responsabilidad Ambiental) propuestas en Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (2019). Dichos cálculos se han basado en el vertido de 200 m³ de agua contra incendios (ver apartado 6.4.1.2 y Anexo 5: Informes IDM y MORA).

Donde se obtiene el siguiente indicador para la externalidad:

$$\frac{3080719,11 \text{ € responsabilidad ambiental}}{87320 \text{ tn residuo}} = \frac{35,28 \text{ € responsabilidad ambiental}}{\text{tn residuo}}$$

7.1.2.2 Impacto de emisiones de CO₂eq

En la valoración del impacto de emisiones de CO₂ de SEMESA la legislación catalana cuenta con la ley 16/2017 de cambio climático, por la cual se grava las emisiones de las actividades industriales incluidas en el anexo I.1 de la ley 20/2009 de actividades industriales. A efectos de categorizar el impacto de emisiones de CO₂ con un enfoque conservador se opta por escoger el gravamen máximo establecido de 30€/tn de CO₂ emitido, que empezará a aplicarse a partir del año 2025.

A continuación, en la Tabla 7 se muestran los datos utilizados en los cálculos del impacto de emisiones de CO₂ en TERSA:

Tabla 7: Valores para cálculo del impacto de emisiones de CO₂ en SEMESA. Fuentes: (TERSA, 2017b; Generalitat de Catalunya, 2017).

tn CO₂ emitido	1596
tn residuo tratado	87320

€/tn CO ₂ emitido	30
------------------------------	----

Donde se obtiene el siguiente indicador para la externalidad:

$$\frac{30\text{€}}{\text{tn CO}_2} \cdot \frac{1596 \text{ tn CO}_2}{87320 \text{ tn residuo tratado}} = \frac{0,55 \text{ €}}{\text{tn residuo tratado}}$$

7.1.2.3 Independencia en el tratamiento de residuos

En la categorización del impacto económico derivado de la independencia en el tratamiento de residuos generada por SEMESA se toma como elemento referente el canon de envío de residuos a vertedero propuesto por la Ley 5/2017 Boletín Oficial del Estado (2017).

El concepto cuantifica la cantidad económica ahorrada por canon de envío a vertedero debido a la independencia en el tratamiento de residuos que ofrece una instalación como SEMESA, donde se tratan los residuos como separación para el reciclaje y no terminan en vertedero.

Tabla 8: Valores para cálculo del impacto de la independencia en el tratamiento de residuos.

Canon de envío a vertedero [€/tn]	47,10
-----------------------------------	-------

Donde se obtiene el siguiente indicador para la externalidad:

$$\frac{47,10 \text{ € envío a vertedero}}{\text{tn residuo}}$$

7.1.3 Tabla resumen de externalidades de SEMESA

A continuación, se resumen de externalidades valoradas en SEMESA en la Tabla 9 y Tabla 10:

Tabla 9: Tabla resumen de las externalidades negativas valoradas en SEMESA.

Externalidades negativas valoradas	[€/tn residuo tratado]
Responsabilidad medioambiental	35,28
Emisiones CO ₂	0,55
Total de externalidades negativas	35,83

Tabla 10: Tabla resumen de las externalidades positivas valoradas en SEMESA.

Externalidades positivas valoradas	[€/tn residuo tratado]
Independencia en el tratamiento de residuos	47,10
Total de externalidades positivas	47,10

7.2 TERSA

A continuación, se valoran económicamente los impactos internos e impactos externos (externalidades) de TERSA.

7.2.1 Balance final de los elementos internos de TERSA

A continuación, se adjunta la Tabla 11 y Tabla 12 donde se recogen los elementos que presentan más de un 0,1% en los costes privados y en los ingresos privados, respectivamente.

Tabla 11: Elementos de gasto analizados, euros gastados, y porcentaje respecto al total del gasto de 2017 en TERSA.

Fuente SABI.

Total de costes privados analizados en TERSA [€]	42649420
--	----------

Expresando los costes privados totales en función de la cantidad de toneladas de residuos tratadas obtenemos el siguiente indicador:

$$\frac{42649420 \text{ € costes privados 2017}}{368791 \text{ tn residuo}} = \frac{115,65 \text{ € costes privados 2017}}{\text{tn residuo}}$$

Tabla 12: Elementos de ingresos analizados, euros ingresados, y porcentaje respecto al total del ingreso de 2017 en TERSA.

Conceptos analizados	Ingresos de actividad 2017 [€]	% respecto total de ingresos 2017
Tratamiento de residuo municipal	10574517,9	18,06
Planta de tratamiento mecánico-biológico (ECOPARC3)	10461716,7	17,87
Venda energía eléctrica	9208253,05	15,73
Canon de residuos municipales	4807763,81	8,21
Planta de selección de envases ligeros (SEMESA)	4434505,78	7,57
Planta de voluminosos de madera y poda (SEMESA)	3451627,9	5,90
Repercusión de costes soportados por TERSA asociados a actividades realizadas por SEMESA	2739612,03	4,68
Logística "deixalleries" metropolitanas	2641410,75	4,51

Repercusión de costes soportados por TERSA asociados a actividades realizadas por SIRESA	2639407,38	4,51
Repercusión de costes de TERSA sobre SEMESA	1507557,15	2,58
Puntos verdes de Zona	1443985,37	2,47
Puntos verdes de Barrio	1365196,74	2,33
Puntos verdes móviles Barcelona	1273483,59	2,18
Venda vapor	664628,08	1,14
Repercusión de costes de TERSA sobre SIRESA	647352,92	1,11
Explotación "deixalleries"	260733,2	0,45
Otros	240685,11	0,41
Oficina TMTR y Central Reservas	85430,46	0,15
Total ingresos privados analizados en TERSA	58447867,99	99,84

Expresando los ingresos privados totales en función de la cantidad de toneladas de residuos tratadas obtenemos el siguiente indicador:

$$\frac{58447867,99\text{€ ingresos privados 2017}}{368791\text{ tn residuo}} = \frac{158,49\text{ € ingresos privados 2017}}{\text{tn residuo}}$$

Para profundizar en el análisis de los costes e ingresos internos de TERSA consultar (Dijk, 2008) y Anexo 1: Cuentas anuales de SEMESA y TERSA 2017.

7.2.2 Valoración económica de las externalidades de TERSA

7.2.2.1 Impacto de cáncer local

En los procesos de incineración, la emisión de elementos potencialmente cancerígenos y tóxicos es un factor para tener en cuenta a la hora de valorar la viabilidad de la instalación y de la ubicación en que debe ser construida.

Si bien existen estudios que descartan el incremento de la probabilidad de desarrollo de cáncer en las cercanías de TERSA (Agència de Salut Pública de Barcelona 2018a), en el estudio Domingo et al. (2017) se asume una probabilidad de desarrollar cáncer 4 veces superior a la estándar en Barcelona. Si bien es cierto que el estudio matiza el origen de la contaminación (puede provenir del tráfico, y no exclusivamente de la incineradora) y menciona cierta incertidumbre debido a únicamente contar con tres puntos de muestreo, para el presente estudio se toma como válida la probabilidad propuesta por el informe como escenario conservador y que maximiza el riesgo.

A continuación, se presentan en la Tabla 13 los elementos tomados como valores de referencia a la hora de calcular el coste económico del cáncer en TERSA.

Tabla 13: Parámetros económicos y de incidencia del cáncer. (SEOM, 2019; Badia and Tort, 2015).

Prevalencia cáncer 2017 [nº de pacientes]	579935
Costes totales cáncer en España [€]	12216000000
Población Española [habitantes]	46934600
Probabilidad de desarrollar cáncer en St. Adrià del Besós [% Prevalencia/población estándar]	4
Habitantes Sant Adrià del Besós [nº habitantes]	34157

Donde:

- **Prevalencia del cáncer:** La prevalencia es la proporción de la población que está sujeta a esta enfermedad en un periodo o en un momento determinado e incluye a todas las personas que habiendo sido diagnosticadas de esta enfermedad en el pasado (reciente o lejano) están vivas, estén curadas o no (SEOM, 2019).
La prevalencia se encuentra determinada por la supervivencia, es decir, la prevalencia es más elevada en los tumores con mayor supervivencia, mientras que los tumores con supervivencia más corta podrían tener una menor prevalencia aunque se diagnostiquen más frecuentemente (SEOM, 2019).
- **Costes totales del cáncer en España (método capital humano):** Los costes totales del cáncer en España expresan el valor económico total destinado al tratamiento integral de la enfermedad. Concretamente, el método del capital humano (Badia and Tort, 2015) propone valorar todas las pérdidas económicas presentes en el desarrollo y tratamiento de un cáncer, entre las cuales incluyen costes directos de hospitalización y medicinas y costes indirectos de bajas laborales, entre otros.
- **Probabilidad de desarrollo de cáncer:** Un reciente estudio llevado a cabo en las inmediaciones de TERSA (Domingo et al., 2017), asocia una probabilidad cuatro veces superior de padecimiento de cáncer de los habitantes de Sant Adrià del Besós debido a la exposición tópica, oral e inhalada de partículas cancerígenas (dibenzo-p-dioxinas policlorinadas, por dibenzofuranos, y bifenilos policlorados).
- **Habitantes de Sant Adrià del Besós:** Habitantes de la zona sujeta de estudio (población de Sant Adrià del Besós).

A continuación, se presentan los cálculos para establecer el impacto económico del cáncer derivado de la instalación de TERSA en Sant Adrià del Besós:

- Ratio de prevalencia estándar de cáncer en España:

$$\frac{579.935 \text{ pacientes cáncer españa}}{46934600 \text{ habitantes españa}} = \frac{0,012 \text{ pacientes cáncer españa}}{\text{habitante españa}}$$

- Ratio de prevalencia de cáncer en Sant Adrià del Besós según el estudio (x4):

$$\frac{0,012 \text{ pacientes cáncer españa}}{\text{habitante españa}} \cdot 4 \text{ (probabilidad cáncer St. Adrià del Besós)} = \frac{0,048 \text{ pacientes cáncer St. Adrià del Besós}}{\text{habitante Sant Adrià del Besós}}$$

- Coste del cáncer por paciente en España:

$$\frac{12.216.000.000 \text{ € costes totales cáncer españa}}{46934600 \text{ habitantes españa}} = \frac{21.064,43 \text{ € costes totales cáncer}}{\text{habitante españa}}$$

- Número de pacientes con cáncer en Sant Adrià del Besós con ratio de prevalencia estándar:

$$34.157 \text{ habitantes St. Adrià del Besós} \cdot \frac{0,012 \text{ pacientes cáncer españa}}{\text{habitante españa}} = 410 \text{ pacientes cáncer St. Adrià del Besós}$$

- Número de pacientes con cáncer en Sant Adrià del Besós con ratio de prevalencia según el estudio (x4):

$$34.157 \text{ habitantes St. Adrià del Besós} \cdot \frac{0,048 \text{ pacientes cáncer St. Adrià del Besós}}{\text{habitante Sant Adrià del Besós}} = 1.640 \text{ pacientes cáncer St. Adrià del Besós}$$

- Coste de cáncer en Sant Adrià del Besós (estándar):

$$\frac{21.064,43 \text{ € costes totales cáncer}}{\text{habitante españa}} \cdot 410 \text{ pacientes cáncer St. Adrià del Besós} = 8.636.416,30 \text{ € coste cáncer St. Adrià Besós}$$

- Coste de cáncer en Sant Adrià del Besós según el estudio (x4):

$$\frac{21.064,43 \text{ € costes totales cáncer}}{\text{habitante españa}} \cdot 1640 \text{ pacientes cáncer St. Adrià del Besós} = 34.545.665,20 \text{ € coste cáncer St. Adrià Besós}$$

- Diferencia entre el coste según el estudio (x4) y el estándar:

$$34.545.665,20 \text{ €} - 8.636.416,30 \text{ €} = 25.909.248,9\text{€}$$

Finalmente, para establecer un valor en base a una unidad de residuo tratado, se divide por el total de residuos tratados en TERSA, obteniendo el siguiente indicador para la externalidad:

$$\frac{25.909.248,9\text{€ costes totales cáncer}}{368791 \text{ tn residuo}} = \frac{70,25 \text{ € coste total cáncer}}{\text{tn residuo}}$$

7.2.2.2 Impacto de emisiones de CO_{2eq}

En la valoración del impacto de emisiones de CO₂ de TERSA, la legislación catalana cuenta con la ley 16/2017 de cambio climático, por la cual se grava las emisiones de las actividades industriales **incluidas en el anexo I.1 de la ley 20/2009 de actividades industriales**. A efectos de categorizar el impacto de emisiones de CO₂ con un enfoque conservador, se opta por escoger el gravamen máximo establecido de 30€/tn de CO₂ emitido, que empezará a aplicarse a partir del año 2025.

En las autorizaciones ambientales de TERSA (consultar anexo 14) **se clasifica como actividad perteneciente al apartado 10.4 del anexo I de la ley 20/2009** de actividades industriales “*Instal·lacions per a la incineració dels residus municipals, amb una capacitat superior a 3 tones per hora.*”. Consecuentemente, es pertinente la aplicación del gravamen de 30€/tn CO₂ emitido y considerar una ratio tn CO₂/tn residuo tratado de 0,9609 (ver Anexo 4: Autorizaciones ambientales de TERSA y declaraciones ambientales de SEMESA y TERSA (2017)).

A continuación, en la Tabla 14 se muestran los datos utilizados en los cálculos del impacto de emisiones de CO₂ en TERSA:

Tabla 14: Valores para cálculo del impacto de emisiones de CO₂ en TERSA. Fuentes: (TERSA, 2017b; Generalitat de Catalunya, 2017).

tn CO ₂ /tn residuo tratado	0,9609
€/tn CO ₂ emitido	30

Obteniendo el siguiente indicador para la externalidad:

$$\frac{30\text{€}}{\text{tn CO}_2} \cdot \frac{0,9609 \text{ tn CO}_2}{\text{tn residuo tratado}} = \frac{28,83 \text{ €}}{\text{tn residuo tratado}}$$

7.2.2.3 Independencia en el tratamiento de residuos

En la categorización del impacto económico derivado de la independencia en el tratamiento de residuos generada por TERSA se toma como elemento referente el canon de envío de residuos a vertedero propuesto por la Ley 5/2017.

El concepto cuantifica la cantidad económica ahorrada por canon de envío a vertedero debido a la independencia en el tratamiento de residuos que ofrece una instalación como TERSA, donde se tratan los residuos con incineración.

Tabla 15: Valores para cálculo del impacto de la independencia en el tratamiento de residuos.

Canon de envío a vertedero	47,10
Canon de envío a incineración	23,60

Obteniendo el siguiente indicador para la externalidad:

$$\frac{47,10 \text{ € envío a vertedero} - 23,60 \text{ € envío a incineración}}{\text{tn residuo}} = \frac{23,60 \text{ €}}{\text{tn residuo}}$$

7.2.2.4 Ahorro de emisiones de CO₂ en Districlima

En la valoración del impacto de “Ahorro de emisiones de CO₂ en Districlima” se determina el valor económico de evitar el uso de combustibles clásicos como gas, gasóleo, etc., en la generación de vapor para el calor del distrito. TERSA al suministrar vapor no turbinable a Districlima, permite el ahorro de emisiones de CO₂, consecuentemente se procede a valorar el valor económico mediante un enfoque conservador donde se suponen fuentes de generación con emisión de CO₂ a la atmósfera por la cual se podría aplicar la ley 16/2017 de cambio climático de Cataluña y aplicar el gravamen máximo de 30€/tn de CO₂ emitido.

Tabla 16: Valores para cálculo del impacto de sinergias entre TERSA y Districlima.

tn CO₂ evitadas	22965
€/tn CO₂ emitido	30
tn residuos año tratadas	368791

Obteniendo el siguiente indicador para la externalidad:

$$\frac{\frac{30 \text{ €}}{\text{tn CO}_2} \cdot 22.965 \text{ tn evitadas CO}_2}{368.791 \text{ tn residuos tratados}} = \frac{1,87 \text{ €}}{\text{tn residuo}}$$

7.2.3 Tabla resumen de externalidades de TERSA

A continuación, se resumen externalidades valoradas en TERSA en la Tabla 17 y Tabla 18:

Tabla 17: Tabla resumen de las externalidades negativas valoradas en TERSA.

Externalidades negativas valoradas	[€/tn residuo tratado]
Impacto cáncer local	70,25
Impacto CO₂ emitido	28,83
Total de externalidades negativas	99,08

Tabla 18: Tabla resumen de las externalidades positivas valoradas en TERSA.

Externalidades positivas valoradas	[€/tn residuo tratado]
Independencia en el tratamiento de residuos	23,60
Ahorro de emisiones de CO₂ en Districlima	1,87
Total de externalidades positivas	25,47

7.3 Coste-Oportunidad (Precios Hedónicos)

Para la valoración del coste-oportunidad se utiliza el precio medio del suelo en las zonas de SEMESA y de TERSA, a través de una aproximación mediante precios hedónicos.

El método de los precios hedónicos se basa en la noción de que las personas obtienen utilidad de varios atributos físicos y ambientales de una casa. El valor que las personas otorgan a un atributo ambiental (por ejemplo, la calidad del aire cerca de un vertedero/incinerador) se obtiene de las diferencias en los precios de la vivienda a varias distancias de los sitios (Eshet et al. 2006).

El método de los precios hedónicos se basa en la teoría del valor de las características, que dice que cualquier bien de consumo básico se puede describir como una función de sus características. El precio del bien será función de estas características.

Hay tres mercados fundamentales que se suelen emplear en este método de valoración:

1. Mercado inmobiliario.
2. Mercado laboral.
3. Valoración de los activos medioambientales

Consecuentemente, para aplicar el método de los precios hedónicos se estimará el precio medio del suelo de las inmediaciones de SEMESA y de TERSA en función de los apartados descriptivos de su contexto de suelo urbano y suelo industrial.

7.3.1 Precios del suelo en SEMESA

En los apartados 4.1 y 4.2 se muestra el contexto urbano e industrial presente en SEMESA. Realizando un análisis cualitativo de la descripción se observa que el entorno inmediato de SEMESA se trata de un polígono industrial bastante aislado y en el que no se entra en aparente conflicto de intereses frente a inversiones urbanísticas, debido a que estas son escasas en la zona.

Debido a la baja inversión de infraestructuras hoteleras, educativas, de infraestructura y comercio en la zona, junto a su alejada ubicación respecto a núcleos urbanos, se opta por contemplar únicamente el precio de suelo industrial de 1000€/m² (AMB, 2019b) como elemento a tener en cuenta a la hora de hacer la valoración de precios hedónicos.

Debido a la “inexistencia” de una alternativa respecto al precio del suelo, se opta por considerar que el coste oportunidad es igual a 0.

7.3.2 Precios del suelo en TERSA

En los apartados 4.3 y 4.4 se muestra el contexto urbano e industrial presente en TERSA. Realizando un análisis cualitativo de la descripción se observa que en las inmediaciones de TERSA coexisten dos ecosistemas muy distintos. Por una parte, TERSA se ubica en una zona altamente industrializada que da servicios urbanos a la capital catalana tales como tratamiento de residuos, producción de electricidad, producción de calor y tratamiento de aguas residuales. Dicha zona si bien resulta indispensable para el correcto funcionamiento de la ciudad, lastra el “atractivo” local, impidiendo la urbanización y el crecimiento del sector turístico, financiero e inmobiliario.

Por otro lado, TERSA se encuentra situada en un entorno a primera línea de mar, con buenos servicios de transporte público, un puerto deportivo, un nuevo campus universitario, y un gran centro comercial, entre otros muchos servicios. Asimismo, el cercano barrio de Diagonal Mar con 7000 €/m², es uno de los barrios más caros de Barcelona (Salvador, 2019).

Atendiendo a los puntos previamente descritos, se puede afirmar que el entorno de TERSA actualmente se encuentra en una situación de cambios y de “conflicto de intereses” entre el terreno de uso industrial y el terreno de uso urbano donde las inversiones industriales van perdiendo terreno frente al desarrollo urbano y a sus inversiones asociadas. A pesar de ello, la población en los últimos años no está sufriendo un importante aumento, tal y como se muestra en la Tabla 19 y Figura 24.

Tabla 19: Evolución de la población (Sant Adrià del Besós y barrios barceloneses de Besòs i el Maresme y Diagonal Mar i el Front Marítim del Poblenou) en los núcleos de población cercanos a TERSA.

	2013	2014	2015	2016	2017
Diagonal Mar i el Front Marítim del Poblenou	12813	13156	13369	13397	13629
Besòs i el Maresme	23118	22829	22834	22746	23009
Sant Adrià del Besós	34822	35386	35814	36496	36624

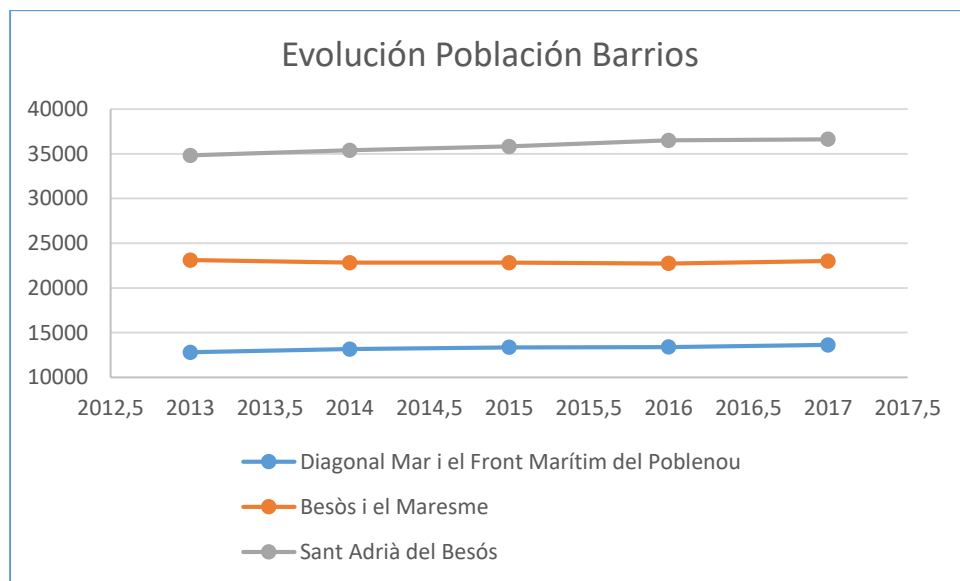


Figura 24: Evolución de la población (Sant Adrià del Besòs y barrios barceloneses de Besòs i el Maresme y Diagonal Mar i el Front Marítim del Poblenou) en los núcleos de población cercanos a TERSA.

A pesar del muy probable valor intrínseco de la zona en cuanto a potencial económico (ver 4.4), se opta, debido a la tendencia estable de la población en el municipio de Sant Adrià del Besòs (ver Figura 24), utilizar un precio medio del suelo urbano estándar en la zona de unos 3000 €/m² (Habitacalia, 2019; Trovimap, 2019). Finalmente, el precio de suelo industrial según la AMB se estima en 1000€/m² (AMB, 2019b).

Ante la existencia de la alternativa en el uso de suelo, se establece un coste oportunidad de 2000€/m², siendo 10.044 m² la superficie total de la planta incineradora de TERSA (ver Anexo 4: Autorizaciones ambientales de TERSA y declaraciones ambientales de SEMESA y TERSA (2017)) se calcula el siguiente indicador:

$$\frac{2000 \text{ € coste oportunidad}}{\text{m}^2} \cdot 10044 \text{ m}^2 = 20088000 \text{ € coste oportunidad}$$

Donde expresando el coste oportunidad en función de las toneladas de residuo tratadas se obtiene el siguiente indicador:

$$\frac{20088000 \text{ € coste oportunidad}}{368.791 \text{ tn residuos tratados}} = \frac{54,46 \text{ € coste oportunidad}}{\text{tn residuo tratado}}$$

8 RESULTADOS

8.1 Resultados de beneficios analizados con costes e ingresos internos y externos y el coste-oportunidad.

A continuación, se presentan los resultados del estudio en la Tabla 20 y Tabla 21 valorados en los apartados 7.1, 7.2 y 7.3.

Tabla 20: Valoración económica final de los impactos en SEMESA.

Tipología de impactos	Grupo de Impacto	Impacto Implicados	Identificación		Periodicidad		Valoración económica	
			Negativo (Costes)	Positivo (Ingresos)	Negativo (Costes)	Positivo (Ingresos)	Costes [€/tn residuo tratado]	Ingresos [€/tn residuo tratado]
Impactos internos	Infraestructura industrial	Infraestructura	Toda la infraestructura necesaria para tratar las toneladas al año de residuo		Al inicio y durante toda la vida útil del proyecto		57,57 ³	
	Aprovisionamientos	Adquisición de bienes y servicios	Todos los bienes y servicios necesarios para la explotación de la planta		Durante toda la vida útil del proyecto			
	Gasto del personal		Todas las horas de trabajo necesarias para la explotación de la planta		Durante toda la vida útil del proyecto			
	Otros costes de explotación		Todos los demás elementos necesarios para la explotación de la planta		Durante toda la vida útil del proyecto			
	Ingresos privados (servicios y venta de materiales)	Venta de subproductos		Venta de plásticos, vidrio, madera, etc.		Durante toda la vida útil del proyecto		99,86

³ Aprovisionamiento, gasto del personal y otros costes de explotación se han valorado conjuntamente a partir de datos del SABI.

Tipología de impactos	Grupo de Impacto	Impacto Implicados	Identificación		Periodicidad		Valoración económica	
			Negativo (Costes)	Positivo (Ingresos)	Negativo (Costes)	Positivo (Ingresos)	Costes [€/tn residuo tratado]	Ingresos [€/tn residuo tratado]
Impactos externos	Impacto sobre el parque agrario	Generación de industria cerca de terrenos de parque agrario	Proliferación de terreno industrial cerca del parque agrario		Durante la vida útil de proyecto		No cuantificado	
	Cambio climático	Emisión de CO _{2eq} a la atmósfera	Emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera		Durante la vida útil del proyecto		0,55	
	Responsabilidad medioambiental	Desastres ambientales	Vertidos accidentales, incendios, etc.		Durante la vida útil de proyecto		35,28	
	Educación ambiental	Cultura de la economía circular		Sensibilización a la cultura de la economía circular		Durante la vida útil de proyecto		No cuantificado
	Desarrollo económico de la zona	Promoción de la industria local en los polígonos de Gavá y Viladecans		Desarrollo industrial en el polígono en el que está ubicada SEMESA. Generación de sinergias con las demás industrias locales.		Durante la vida útil del proyecto		No cuantificado
	Independencia para el tratamiento de residuos	Capacidad de tratamiento de residuos (no vertedero)		Toneladas que no son enviadas a vertedero		Durante la vida útil del proyecto		47,10
Coste oportunidad	Precios del suelo	Precios de suelo	Pérdida de oportunidad de negocio suelo industrial vs suelo urbano		Al inicio y durante la vida útil de proyecto		0,00	
SUMA							93,43	146,96
BENEFICIO							53,53	

Tabla 21: Valoración económica final de los impactos en TERSA.

Tipología de impactos	Grupo de Impacto	Impacto Implicados	Identificación		Periodicidad		Valoración económica	
			Negativo (Costes)	Positivo (Ingresos)	Negativo (Costes)	Positivo (Ingresos)	Costes [€/tn residuo tratado]	Ingresos [€/tn residuo tratado]
Impactos internos	Infraestructura industrial	Infraestructura	Toda la infraestructura necesaria para tratar las toneladas al año de residuo		Al inicio y durante toda la vida útil del proyecto		115,65 ⁴	
	Aprovisionamientos	Adquisición de bienes y servicios	Todos los bienes y servicios necesarios para la explotación de la planta		Durante toda la vida útil del proyecto			
	Gasto del personal		Todas las horas de trabajo necesarias para la explotación de la planta		Durante toda la vida útil del proyecto			
	Otros costes de explotación		Todos los demás elementos necesarios para la explotación de la planta		Durante toda la vida útil del proyecto			
	Ingresos privados (servicios y venta energética)	Venta de energía y servicios asociados		Venta de MWh y servicios asociados		Durante toda la vida útil del proyecto		158,49
Impactos externos	Cambio climático	Emisión de CO _{2eq} a la atmósfera	Emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera		Durante la vida útil del proyecto		28,83	

⁴ Aprovisionamiento, gasto del personal y otros costes de explotación se han valorado conjuntamente a partir de datos del SABI.

Tipología de impactos	Grupo de Impacto	Impacto Implicados	Identificación		Periodicidad		Valoración económica	
			Negativo (Costes)	Positivo (Ingresos)	Negativo (Costes)	Positivo (Ingresos)	Costes [€/tn residuo tratado]	Ingresos [€/tn residuo tratado]]
		Ahorro de emisiones de CO _{2eq} a la atmósfera suministrando vapor a Districlima		Emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera		Durante la vida útil del proyecto		1,87
	Calidad del aire	Emisión de partículas tipo PM10, NOx entre otras	Emisiones de gases que empeoran la calidad del aire urbana		Durante la vida útil del proyecto		No cuantificado	
	Emisión de gases cancerígenos	Emisión de gases y partículas cancerígenas	Emisión de gases y partículas cancerígenas		Durante la vida útil del proyecto		70,25	
	Freno al desarrollo económico local	Impedimento al desarrollo de servicios, negocios y turismo	Impedimento al desarrollo de negocios del sector servicios, turismo, inmobiliario debido al sector industrial de la zona		Durante toda la vida útil del proyecto		No cuantificado	
	Educación ambiental	Cultura de la economía circular		Sensibilización a la cultura de la economía circular		Durante la vida útil de proyecto		No cuantificado
	Independencia de suministro eléctrico	Capacidad de autoabastecimiento eléctrico		Capacidad de autoabastecimiento eléctrico		Durante la vida útil de proyecto		No cuantificados
	Independencia para el tratamiento de residuos	Capacidad de tratamiento de residuos (no vertedero)		Toneladas que no son enviadas a vertedero		Durante la vida útil del proyecto		23,60
Coste oportunidad	Precios del suelo	Precios de suelo	Pérdida de oportunidad de negocio		Al inicio y durante la		54,46	

Tipología de impactos	Grupo de Impacto	Impacto Implicados	Identificación		Periodicidad		Valoración económica	
			Negativo (Costes)	Positivo (Ingresos)	Negativo (Costes)	Positivo (Ingresos)	Costes [€/tn residuo tratado]	Ingresos [€/tn residuo tratado]
			suelo industrial vs suelo urbano		vida útil de proyecto			
SUMA							298,89	183,96
BENEFICIO							-85,23	

8.2 Resultados viabilidad del proyecto

Aplicando la metodología descrita en 2.1.3 se obtienen los siguientes resultados para el análisis de la viabilidad de los proyectos desarrollados en SEMESA y TERSA (ver Tabla 22).

Tabla 22: Tabla resumen de la viabilidad de los proyectos de SEMESA y TERSA.

SEMESA	TERSA
$B_p > 1$ (viable operativamente)	$B_p > 1$ (viable operativamente)
$B_T > 1$ (viable económicamente)	$B_T < 1$ (inviable económicamente)

9 CONCLUSIONES Y PROPUESTAS

9.1 Conclusiones

Este punto sintetiza las conclusiones del presente trabajo enmarcadas en la metodología propuesta en apartado 2.1.3 . Asimismo también analiza cualitativamente resultados provenientes del trabajo.

A continuación se presentan las conclusiones:

1. En un análisis inicial donde únicamente se tienen en cuenta los ingresos y costes internos SEMESA y TERSA muestran una rentabilidad económica positiva. Se cumple $B_p > 0$, consecuentemente ambos proyectos son viables operativamente. Concretamente el beneficio neto aportado por SEMESA es de 42,29 €/tn tratada de residuo y para TERSA de 42,84 €/tn tratada de residuo. Para ambas instalaciones destaca el hecho que presentan beneficios muy parejos y similares, consecuentemente no puede establecerse de manera clara que instalación de las dos es más rentable económicamente hablando.
2. En un análisis avanzado donde se tienen en cuenta los ingresos y costes internos y externos de SEMESA y TERSA se muestran claras diferencias. Para SEMESA se cumple $B_T > 0$ dando un beneficio de 53,59€/tn tratada de residuo, resultando en un proyecto económicamente viable. En el caso de TERSA $B_T < 0$ dando lugar a unas pérdidas de -85,23€/tn tratada de residuo, resultando en un proyecto económicamente inviable.
3. Para el caso concreto de este estudio, se demuestra que parcialmente la jerarquía de residuos propuesta por la Directiva 2008/98/CE se cumple.
4. Para demostrar totalmente si la jerarquía de residuos propuesta por la Directiva 2008/98/CE se cumple, se debería analizar toda la cadena de valor de los dos procesos (valorización energética y reciclaje).
5. El estudio muestra a través de la legislación aplicada un cambio en el paradigma legal con respecto al medio ambiente y la salud de las personas en los ámbitos de cambio climático⁵, riesgo medioambiental⁶, calidad del aire⁷ y residuos⁸. Este cambio de modelo pretende en un futuro inmediato aplicar medidas para incorporar las externalidades que impactan negativamente a los costes internos de la empresa/organismo público que realiza la actividad.

⁵ Llei 16/2017

⁶ Ley 26/2007

⁷ Directiva 2008/50/CE

⁸ Directiva 2008/98/CE

6. El capítulo 4 muestra un contexto industrial de TERSA en Sant Adrià del Besós en un período de transición drástico debido a la gran inversión de capital en infraestructuras urbanas contiguas al suelo industrial. Por el contrario, SEMESA al estar ubicada en un polígono industrial aislado y no recibir tantas inversiones no se ve afectada.
7. Para el caso de TERSA, la viabilidad económica del proyecto podría mejorarse si se redujeran las externalidades derivadas de la afectación a la salud de la población⁹ (70,25€/tn residuo tratada). Debe incluirse también en esta afectación a la salud la externalidad no valorada del impacto en las emisiones de NO₂. Dichas externalidades son derivadas en gran medida de la ubicación de TERSA en una zona con gran densidad poblacional. Ubicar una infraestructura como TERSA en otro espacio sin las mismas características de alta densidad poblacional reduciría probablemente los impactos en la salud de las personas.
8. Para el caso de TERSA, el coste-oportunidad se muestra como elemento que reduce la viabilidad económica de TERSA. Cabe reseñar que los precios medios del terreno escogidos para valorar el coste-oportunidad han sido escogidos a la baja debido a la imposibilidad de hacer proyecciones fiables de la evolución de los precios en la zona. Sin embargo, analizando el contexto urbano de TERSA se observa que el precio de los pisos evolucionará muy probablemente a la alza en la zona debido a la fuerte inversión. Si la infraestructura de TERSA se ubicara en una zona con menos influencia de la inversión urbana se conseguiría reducir o minimizar el factor de coste-oportunidad a 0€/tn residuo tratada. Por el contrario, en el caso de SEMESA se observa una infraestructura industrial ubicada en suelo industrial que no es afectada por los precios del terreno urbano debido a su ubicación.
9. Para el caso de SEMESA, la viabilidad económica del proyecto podría mejorarse si se contrata un seguro de responsabilidad medioambiental que cubriera los posibles impactos de un accidente (35,28€/tn tratada de residuo).
10. Para ambas instalaciones de tratamiento de residuos (SEMESA y TERSA) se observa la externalidad positiva derivada del tratamiento del residuo en vez del envío a vertedero. Esta externalidad positiva se mostrará cada vez más estratégica en la gestión de residuos debido a los objetivos reciclaje y economía circular marcados por la Directiva 2008/98/CE y la Ley 5/2017

⁹ El estudio ha optado por escoger un enfoque conservador, asumiendo a partir del estudio de J-Domigno de la URL que la probabilidad de padecer cáncer es 4 veces superior a la de otras zonas. Existen otros estudios aportados por entidades de prestigio que contradicen esos datos que no han sido utilizados en el presente trabajo al ser menos conservadores.

11. La capacidad de tratamiento de ≈ 360.000 tn de residuo anual junto a las dependencias directas creadas con Districlima y Ecoparc3 convierten a TERSA en una infraestructura con muchas más interrelaciones de dependencia con su entorno que SEMESA.

9.2 Futuras líneas de investigación

Este punto propone nuevas posibilidades de desarrollo y continuación a partir del presente estudio con el objeto de demostrar que la jerarquía propuesta por la Directiva 2008/98/CE se cumple. A continuación se listan las propuestas.

1. Realizar un análisis técnico-económico de la línea de distribución eléctrica y venta de electricidad, valorando los beneficios y costes internos y externos.
2. Realizar un análisis técnico-económico del reciclado y venta del producto final, valorando los beneficios y costes internos y externos.
3. Realizar un análisis técnico-económico de otra planta de valoración energética ubicada en otra zona donde no exista una alta densidad poblacional.
4. Realizar un análisis del impacto económico que supondría el cierre de Districlima o la generación de energía en Districlima a través de energías no renovables.
5. Realizar un análisis de valoración económica del impacto de las emisiones de NOx en TERSA.
6. Realizar un análisis de precios del suelo urbano en TERSA a efectos de valorar el coste-oportunidad de la inversión urbanística en la zona vs. la inversión industrial.

10 BIBLIOGRAFÍA

- Agència de Salut Pública de Barcelona. (2018a). *Anàlisi del risc de mortalitat associat a la proximitat de la incineradora de Sant Adrià del Besòs* (Vol. 1).
- Agència de Salut Pública de Barcelona. (2018b). *Informe de qualitat de l'aire de Barcelona*.
- AJA. (2008). Legislación al día. Unión Europea. Directiva de Residuos. Retrieved December 29, 2019, from Actualidad Jurídica Ambiental website:
<http://www.actualidadjuridicaambiental.com/legislacion-al-dia-union-europea-directiva-de-residuos/>
- Ajuntament de Barcelona. (2019). La pérgola fotovoltaica del Fòrum Web de Barcelona. Retrieved December 23, 2019, from Web de Barcelona website:
https://www.barcelona.cat/es/coneixbcn/pics/attractius/la-pergola-fotovoltaica-del-forum_99400076320.html
- Ajuntament de Gavà. (2019). Parc Empresarial Gavà. Retrieved December 22, 2019, from Portal Econòmic website: <http://www.portaleconomic.gavaciutat.cat/es/peg>
- Al-Salem, S. M., Papageorgiou, L. G., & Lettieri, P. (2014). Techno-economic assessment of thermo-chemical treatment (TCT) units in the Greater London area. *Chemical Engineering Journal*, 248, 253–263. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2014.03.053>
- Aleluia, J., & Ferrão, P. (2017). Assessing the costs of municipal solid waste treatment technologies in developing Asian countries. *Waste Management*, 69, 592–608.
<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.08.047>
- AMB. (2018). *Planta de selecció d'envasos de Gavà-Viladecans*.
- AMB. (2019a). EDAR del Besòs. Retrieved December 22, 2019, from
<http://www.amb.cat/es/web/medi-ambient/aigua/instalacions-i-equipaments/detall/-/equipament/edar-del-besos/275728/11818>
- AMB. (2019b). Mercat immobiliari industrial a l'àrea metropolitana de barcelona.
- Atkinson, G., & Mourato, S. (2015). Cost-Benefit Analysis and the Environment. Recent Developments. In *OECD*. <https://doi.org/10.1086/426308>
- Badia, X., & Tort, M. (2015). La carga del cáncer en España. In *OMAKASE Consulting*.
- Be energy - Entrevista con David Serrano García. (2012). *Be Energy*, 4.

- Benavides, L. (2019). La ACA reconoce el impacto del vertido en los peces del Besòs. Retrieved from El Periódico website: <https://www.elperiodico.com/es/sociedad/20191212/la-aca-reconoce-el-impacto-del-vertido-en-los-peces-del-besos-7771654>
- Boletín Oficial del Estado. (2017). *Ley 5/2017, de 28 de marzo, de medidas fiscales, administrativas, financieras y del sector público y de creación y regulación de los impuestos sobre grandes establecimientos comerciales, sobre estancias en establecimientos turísticos, sobre elementos radi.* 53471–53682. Retrieved from <http://www.boe.es>
- Comisión Europea. (2019). *Informe de la Comisión al Parlamento Europeo, al Consejo, al Comité Económico y Social Europeo y al Comité de las Regiones sobre la aplicación de la Agenda Europea para la Cultura.*
- Da Cruz, N. F., Simões, P., & Marques, R. C. (2012). Economic cost recovery in the recycling of packaging waste: The case of Portugal. *Journal of Cleaner Production*, 37, 8–18. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.05.043>
- Dahlbo, H., Ollikainen, M., Peltola, S., Myllymaa, T., & Melanen, M. (2007). Combining ecological and economic assessment of options for newspaper waste management. *Resources, Conservation and Recycling*, 51(1), 42–63. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2006.08.001>
- de Bont, J., Casas, M., Barrera-Gómez, J., Cirach, M., Rivas, I., Valvi, D., ... Vrijheid, M. (2019). Ambient air pollution and overweight and obesity in school-aged children in Barcelona, Spain. *Environment International*, 125(September 2018), 58–64. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.01.048>
- Departamento de Territorio y Sostenibilidad. (2018). La Ley 20/2009. Retrieved December 29, 2019, from Generalitat de Catalunya website: http://mediambient.gencat.cat/es/05_ambits_dactuacio/empresa_i_produccio_sostenible/prevencio_i_control_dactivitats/la_llei_de_prevencio_i_control_ambiental_dactivitats/llei_20_2009_pcaa/llei_20_2009/
- Domingo, J. L., Rovira, J., Nadal, M., & Schuhmacher, M. (2017). High cancer risks by exposure to PCDD/Fs in the neighborhood of an Integrated Waste Management Facility. *Science of the Total Environment*, 607–608, 63–68. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.06.272>
- El Periódico. (2019). Port Fòrum planea nuevos proyectos para dinamizar la zona. Retrieved December 23, 2019, from El Periódico website: <https://www.elperiodico.com/es/barcelona/20190605/port-forum-sant-adria-nuevos->

- Endesa Generación. (2015). *Declaración Ambiental C.T.C.C Besòs*. Retrieved from <https://www.endesa.com/content/dam/enel-es/home/sostenibilidad/medioambiente/gestionambiental/documentos/2014/Declaración ambiental 2014 C.T.C.C. Besós.pdf>
- Eshet, T., Ayalon, O., & Shechter, M. (2006). Valuation of externalities of selected waste management alternatives: A comparative review and analysis. *Resources, Conservation and Recycling*, 46(4), 335–364. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2005.08.004>
- European Commission. (2014). Guide to Cost-Benefit Analysis of Investment Projects. Economic appraisal tool for Cohesion Policy 2014-2020. In *Regional and Urban Policy*. <https://doi.org/10.2776/97516>
- European Parliament. Directive 2000/76/EC of the European Parliament and of the Council of 4 December 2000 on the incineration of waste. , Official Journal of the European Union § (2000).
- European Parliament. Directive 2008/98/EC of the European Parliament and the Council of 19 November 2008 on Waste and Repealing Certain Directives. , Journal of the European Union § (2008).
- European Union. (2019a). *EU energy in Figures*. <https://doi.org/10.2833/197947>
- European Union. (2019b). Municipal waste by waste management operations. Retrieved December 7, 2019, from Eurostat - Data Explorer website: https://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=env_wasmun&lang=en
- Fernández, H. (2019). El edificio “esqueleto” de la Diagonal renacerá como pisos de lujo. Retrieved December 23, 2019, from Metropoli website: https://www.metropoliabierta.com/urbanismo/el-edificio-esqueleto-de-la-diagonal-renacera-como-pisos-de-lujo_11073_102.html
- Galindo, P. (2013). ¿Por qué arden tantas plantas de reciclado y puntos limpios? (plásticos, papel, neumáticos...). Retrieved December 30, 2019, from BlogSOstenible website: <https://blogsostenible.wordpress.com/2013/08/14/incendio-plantas-reciclado-plasticos-papel-residuos/>
- Generalitat de Catalunya. Llei 16/2017, de l'1 d'agost, del canvi climàtic. , 7426 Diari Oficial de la Generalitat de Catalunya § (2017).

- Gradus, R. H. J. M., Nillesen, P. H. L., Dijkgraaf, E., & van Koppen, R. J. (2017). A Cost-effectiveness Analysis for Incineration or Recycling of Dutch Household Plastic Waste. *Ecological Economics*, 135, 22–28. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2016.12.021>
- Habitacalia. (2019). Evolución precios pisos metro cuadrado en venta en Sant Adrià de Besòs.
- Hoogmartens, R., Van Passel, S., Van Acker, K., & Dubois, M. (2014). Bridging the gap between LCA, LCC and CBA as sustainability assessment tools. *Environmental Impact Assessment Review*, 48, 27–33. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2014.05.001>
- Jamasb, T., & Nepal, R. (2010). Issues and options in waste management: A social cost-benefit analysis of waste-to-energy in the UK. *Resources, Conservation and Recycling*, 54(12), 1341–1352. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2010.05.004>
- Jorro, I. (2017). Marriott negocia su hotel en el Port Fórum. Retrieved October 23, 2019, from Crónica Global website: https://cronicaglobal.elespanol.com/business/marriott-hotel-port-forum_69001_102.html
- Jorro, I. (2019). El Hard Rock enfría BCN World y ya construye en Barcelona. Retrieved December 23, 2019, from Crónica Global website: https://cronicaglobal.elespanol.com/business/hard-rock-hotel-port-forum-barcelona_243987_102.html
- Kirchherr, J., Reike, D., & Hekkert, M. (2017). Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions. *Resources, Conservation and Recycling*, 127(September), 221–232. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.09.005>
- La Vanguardia. (2016). El campus de la UPC del Besòs se pondrá en marcha este septiembre. Retrieved December 22, 2019, from La Vanguardia website: <https://www.lavanguardia.com/local/barcelones-nord/20160127/301701937350/campus-upc-besos.html>
- Martinez-Sanchez, V., Kromann, M. A., & Astrup, T. F. (2015). Life cycle costing of waste management systems: Overview, calculation principles and case studies. *Waste Management*, 36, 343–355. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2014.10.033>
- Mavrotas, G., Gakis, N., Skoulaxinou, S., Katsouros, V., & Georgopoulou, E. (2015). Municipal solid waste management and energy production: Consideration of external cost through multi-objective optimization and its effect on waste-to-energy solutions. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 51, 1205–1222. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.07.029>
- Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. (2019). Modelo de Oferta de

- Responsabilidad Ambiental. Retrieved December 30, 2019, from <https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/responsabilidad-mediambiental/modelo-de-oferta-de-responsabilidad-ambiental/>
- Monczka, R. M., Handfield, R. B., Giunipero, L. C., & Patterson, J. L. (2011). *Purchasing and Supply Chain Management: Analysis, Strategy, Planning and Practice* (5th. Editi).
- Nahman, A. (2011). Pricing landfill externalities: Emissions and disamenity costs in Cape Town, South Africa. *Waste Management*, 31(9–10), 2046–2056. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2011.05.015>
- OMS. (2017). Contaminación del aire. Retrieved from WHO website: https://www.who.int/topics/air_pollution/es/
- Panepinto, D., Senor, A., & Genon, G. (2016). Energy recovery from waste incineration: Economic aspects. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 18(2), 517–527. <https://doi.org/10.1007/s10098-015-1033-7>
- Parlamento Europeo. (2019). Economía circular: definición, importancia y beneficios. Retrieved December 8, 2019, from Noticias website: <https://www.europarl.europa.eu/news/es/headlines/economy/20151201STO05603/economia-circular-definicion-importancia-y-beneficios>
- Parlamento Europeo y del Consejo. (2008). Directiva 2008/50/CE: relativa a la calidad del aire ambiente y a una atmósfera más limpia en Europa. *Diario Oficial de La Unión Europea*, 152, 1–44. Retrieved from <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32008L0050>
- Puga, N. (2012). Un informe pericial concluye que el incendio de Brenntag en Caldas de Reis fue “fortuito.” Retrieved December 30, 2019, from El Mundo website: <https://www.elmundo.es/elmundo/2012/03/21/galicia/1332344916.html>
- Risch, B. W. K. (1978). The raw material supply of the European Community. *Resources Policy*, 4(3), 181–188. [https://doi.org/10.1016/0301-4207\(78\)90045-4](https://doi.org/10.1016/0301-4207(78)90045-4)
- Rivas Casado, M., Serafini, J., Glen, J., & Angus, A. (2017). Monetising the impacts of waste incinerators sited on brownfield land using the hedonic pricing method. *Waste Management*, 61, 608–616. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.10.036>
- Rivas, I., Querol, X., Wright, J., & Sunyer, J. (2018). How to protect school children from the neurodevelopmental harms of air pollution by interventions in the school environment in the

- urban context. *Environment International*, 121(June), 199–206.
<https://doi.org/10.1016/j.envint.2018.08.063>
- Salvador, R. (2019). Estas son las seis zonas más caras de Barcelona para comprar un piso. Retrieved December 24, 2019, from La Vanguardia website:
<https://www.lavanguardia.com/economia/20190306/46885764180/barcelona-vivienda-compra-alquiler-precios-zonas-lujo.html>
- Seguí-Amórtégui, L., Alfranca-Burriel, O., & Moeller-Chávez, G. (2014). Metodología para el análisis técnico-económico de los sistemas de regeneración y reutilización de las aguas residuales. *Tecnología y Ciencias Del Agua*, V(2), 55–70. Retrieved from
<http://www.scielo.org.mx/pdf/tca/v5n2/v5n2a4.pdf>
- SEMESA. (2017). *Cuentas Anuales 2017*.
- SEOM. (2019). *Las cifras del cáncer en España*. Retrieved from
https://seom.org/images/SEOM_cifras_cancer_2019.pdf
- Serrano, D. (2019). “Un DHC consolidat.” Retrieved from
[http://www.districtclima.com/districtclima/uploads/descargas/presentaciones_y_otros_documentos/2019_06_Presentació_estàndar_Districtclima_\(CAT\)-1.pdf](http://www.districtclima.com/districtclima/uploads/descargas/presentaciones_y_otros_documentos/2019_06_Presentació_estàndar_Districtclima_(CAT)-1.pdf)
- Silva, L. J. de V. B. da, Santos, I. F. S. dos, Mensah, J. H. R., Gonçalves, A. T. T., & Barros, R. M. (2019). Incineration of municipal solid waste in Brazil: An analysis of the economically viable energy potential. *Renewable Energy*. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.10.134>
- Sun, C., Meng, X., & Peng, S. (2017). Effects of waste-to-energy plants on china’s urbanization: Evidence from a hedonic price analysis in shenzhen. *Sustainability (Switzerland)*, 9(3), 1–18.
<https://doi.org/10.3390/su9030475>
- TERSA. (2017a). *Cuentas anuales 2017*. Retrieved from
<https://www.grifols.com/documents/10192/39987690/2017-grifols-sa-annual-financial-statements-es/457fe203-00b0-4927-a6d8-c41ee4d4a45f>
- TERSA. (2017b). *Declaració Ambiental Tractament i Selecció de Residus, S.A.*
- TERSA. (2019a). Grupo TERSA. Retrieved January 19, 2020, from <https://www.teresa.cat/es-es/>
- TERSA. (2019b). Grupo TERSA. Retrieved December 29, 2019, from <https://www.teresa.cat/es-es/contacte/#visites>
- Trovimap. (2019). Evolución histórica de precios y tendencia del mercado en Sant Adrià de Besòs.

Retrieved December 24, 2019, from Trovimap website: <https://www.trovimap.com/precio-vivienda/barcelona/sant-adria-de-besos>

Xin-Gang, Z., Gui-Wu, J., Ang, L., & Yun, L. (2016). Technology, cost, a performance of waste-to-energy incineration industry in China. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 55, 115–130. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.10.137>

Zarza, L. F. (2019). Historias del agua (7): El envenenamiento del río Rin. Retrieved December 30, 2019, from iagua website: <https://www.iagua.es/blogs/laura-f-zarza/historias-agua-7-envenenamiento-río-rin>

Dijk, B. Van. (2008). SABI [Recurs electrònic]. Retrieved January 15, 2020, from https://discovery.upc.edu/iii/encore/record/C__Rb1374872?lang=cat

11 Anexo 1: Cuentas anuales de SEMESA y TERSA 2017

12 Anexo 2: Informe de sostenibilidad de TERSA 2017

13 Anexo 3: Informe de producción TERSA 2017

14 Anexo 4: Autorizaciones ambientales de TERSA y declaraciones ambientales de SEMESA y TERSA (2017)

15 Anexo 5: Informes IDM y MORA